

Tom Eklund

Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK)
Talotekniikka
Opinnäytetyö
9.5.2011

Tekijä Otsikko	Tom Eklund Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen
Sivumäärä Aika	52 sivua + 47 liitettä 9.5.2011
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	talotekniikka
Ohjaajat	apulaisjohtaja Aimo Hämäläinen yliopettaja Olli Jalonen
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tukea Helsingin yliopiston kemian laitoksessa suoritettavaa saneerausta rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi. Työssä keskitytään löytämään rakennukselle energiataloudellisesti järkevintä kokonaisratkaisua ottaen huomioon toimivuus ja elinkaaritaloudellisuus.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin rakennuksen yhtä ilmanvaihtovyöhykettä, jossa tavoitteena oli selvittää ilmanvaihdon järkevintä hajauttamisastetta, lämmöntalteenoton vaikutusta ja laitelämpökuormien hyödyntämistä tutkittavan tilan lämmittämisessä.</p> <p>Mitoitettiin uudet vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät, joissa optimoitiin ilmamäärät ja kuormitukset hajauttamalla useampaan ilmanvaihtokoneeseen, siten että kokonaisilmamäärät olivat 12 m³/s. Kerättiin nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän energian kulutukset ja verrattiin vaihtoehtoihin ratkaisuihin. Huomioitiin lämmöntalteenoton ja laitelämpökuormien vaikutuksia. Elinkaarikustannukset ja takaisinmaksuajat laskettiin kaikille vaihtoehtoisille järjestelmille.</p> <p>Tulokseksi tässä projektissa saatiin alhaisimmat elinkaarikustannukset 20 vuoden jaksolle hajauttamalla 3 m³/s ilmanvaihtokoneisiin. Kun huomioitiin vesi-glykolilämmöntalteenoton hyödyt tutkittavan tilan lämmittämisessä, saavutettiin jopa 42,2 % alhaisemmat elinkaarikustannukset nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmään verrattuna. Pyörivällä lämmöntalteenotolla kustannukset olivat vastaavasti 52,6 % alhaisemmat.</p> <p>Hyödyntämällä laitelämpökuormia, elinkaarikustannukset ovat jopa 62,5% alhaisemmat nykyiseen järjestelmään verrattuna. Takaisinmaksuajat ovat 6–8 vuotta.</p> <p>Helsingin yliopistolla on useita kiinteistöjä jotka kaipaavat vastaavia uudistuksia, joilla parannetaan kiinteistöjen energiataloutta ja ilmanlaatua. Tulos tästä opinnäytetyöstä osoittaa että kannattaa laskea elinkaarikustannukset kokonaisista järjestelmistä. Lopputulos on herkkä jatkuvasti nouseville energian hinnoille.</p>	
Avainsanat	hajautettu ilmanvaihto, lämmöntalteenotto, energiatehokkuus

Author Title	Tom Eklund Improving the energy efficiency of ventilation
Number of Pages Date	52 pages + 47 appendices 9 May 2011
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructors	Aimo Hämäläinen, Assistant Director Olli Jalonen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this Master's thesis is to support the reconstruction project at the Chemistry Department at Helsinki University to improve and optimize the energy efficiency of the building. The focus is on finding an optimal, energy economic solution, taking both functionality and life cycle economy into account.</p> <p>During the project, a given area of the building was studied to define the optimal decentralization rate of the ventilation, and the impact of the heat recovery systems, as well as to recognize the possibility to utilise of heat loads of the devices to heat up the area.</p> <p>New alternative ventilation systems were designed with optimized ventilation rates and loads, and decentralized to several AHUs with total air flow sum of 12 m³/s. . The energy consumption of the current ventilation system was collected and compared with alternative solutions. The impact of the heat recovery systems and the heat loads of devices were taken into account. The total life cycle costs and payback time were calculated for all systems.</p> <p>As result in this project it was found out that, the lowest life cycle costs for a period of 20 years were reached with a decentralized ventilation system with AHUs with the volume of 3 m³/s. When taking the advantages of the water-glycol heat recovery system into account, the reduction of the total costs during the life cycle period is up to 42.2 % smaller than current system. With the rotating recovery system the cost reduction is 52.6 %.</p> <p>When the heat loads of the devices are taken advantage of, the costs during the life cycle are up to 62.5 % lower than those of the current system. The payback time is between 6 and 8 years.</p> <p>The University of Helsinki has a lot of buildings which need similar renovations in order to improve the energy economics and the air quality of them. The result of this thesis shows that it is worthwhile to calculate the life cycle costs of complete systems. The final result depends on the constantly growing energy prices.</p>	
Keywords	decentralized ventilation, heat recovery, energy efficiency

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Rakennusten energialuokitukset	3
3	Ilmanvaihtojärjestelmät	6
3.1	Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä	6
3.2	Hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä	7
4	Ilmanvaihtokone	9
4.1	Ilmanvaihtokoneen komponentit	9
4.2	Puhallin	10
4.3	Lämmöntalteenotto	11
4.4	Lämmitys	13
5	Projekti: Kemianlaitos, Kumpula	14
5.1	Rakennuksen yleistiedot	14
5.1.1	Sähköenergiankulutus	15
5.1.2	Sähköenergian kustannukset	17
5.1.3	Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä	19
5.1.4	Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä B214	19
5.1.5	Ominaissähkötehon määrittäminen	20
5.1.6	Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaistehon laskenta	23
5.2	Projektin tavoitteet	24
5.3	Tarkastettavat vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät	25
5.3.1	Vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät	25
5.3.2	Ilmanvaihtojärjestelmien mitoitusarvot ja ominaissähkötehot	28
5.3.3	Ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergian kulutuslaskelmat	29
5.3.4	Puhaltimien osakuormien laskeminen	29
5.3.5	Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutuslaskelmat	30
5.3.6	Vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergiankulutus	30
5.3.7	Ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergian kustannuslaskelmat	32
5.3.8	Ilmanvaihtojärjestelmien hinnat	33
5.3.9	Kannattavuuslaskelmat (Nykyarvomenetelmällä)	33
5.3.10	Investointikustannukset	34
5.3.11	Elinkaarikustannukset	35

5.3.12 Takaisinmaksuajat	37
6 Rakennuksen lämmityskulujen säästö lämmöntalteenotolla	38
7 Rakennuksen lämmityskulujen säästö hyödyntämällä laitekuormia	42
7.1 Elinkaaren kokonaiskustannukset	42
7.2 Takaisinmaksuajat	43
7.3 Optimoidut laitelämpökuormat	44
8 Herkkyystarkastelu	45
9 Tulokset	46
9.1 Ominais sähkötehot	46
9.2 Laitteiden investointikustannukset	46
9.3 Elinkaaren kokonaiskustannukset	47
9.4 Takaisinmaksuajat	48
10 Johtopäätökset	49
Lähteet	52
Liitteet	
Liite 1. Rakennuksen tilatiedot	
Liite 2. Rakennuksen sähkökäyttöraportti ellaNet-järjestelmästä	
Liite 3. Rakennuksen kaukolämpökulutukset	
Liite 4. Helsingin Energian kaukolämpöhinnat	
Liite 5. Ilmanvaihtojärjestelmän B214 konekortit	
Liite 6. Tutkittavan tilan tilakohtaiset kuvat	
Liite 7. Ilmanvaihtokoneiden mitoitus tiedot	
Liite 8. Puhaltimien mitoitus	
Liite 9. Ilmanvaihtojärjestelmien hinnat	
Liite 10. iv-järjestelmien investointikustannukset rahoituskustannuksineen	
Liite 11. iv-järjestelmien elinkaarien kokonaiskustannukset	
Liite 12. Tutkittavan tilan kokonaisenergiankulutus	
Liite 13. iv-järjestelmä 1, elinkaaren kokonaiskustannukset	
Liite 14. Kokonaiskustannusten muodostuminen	
Liite 15. Takaisinmaksuajat hyödyntämällä eri laitelämpökuormia	

1 Johdanto

Kasvava energiankulutus on suuri haaste energiasektorilla. Energiankulutus ja tuotanto vaikuttavat koko yhteiskuntaan, ja niillä on selvä vaikutus ympäristöön ja ilmaston lämpenemiseen. Kehittyneissä maissa energiankulutus asukasta kohden on kymmenen kertaa suurempi kuin kehittyvissä maissa [1.] Energiankulutus Afrikassa, Aasiassa ja Etelä-Amerikassa on kasvussa, mikä muuttaa maailman energiatasapainoa. Maailmanlaajuinen energiankulutus tulee kasvamaan noin 50 % vuoteen 2030 mennessä. Tästä noin 70 % tapahtuu kehittyvissä maissa, erityisesti Kiinassa ja Intiassa [1.]

Energia ja sen saatavuus ovat kriittisiä toimivalle ja kehittyneelle taloudelle. Energiakulutuksen vähentäminen ja rajoitettujen energiavarojen järkevä käyttö edellyttävät muutoksia sekä teknologiassa että ihmisten käyttäytymisessä. YK:n kehitysohjelman mukaan (2004) vain 37 % primäärienergiasta käytetään hyödyllisesti. Tämä merkitsee sitä, energiatehokkuutta voidaan kehittää huomattavasti ja tähän tulisi pyrkiä. Suurimmat syyt energiatehokkuuden parantamiseen ovat ilmastonmuutos ja hiilidioksidipäästöt sekä fossiilisten polttoaineitten rajalliset varannot. Vaikka energiatehokkuutta on monilla alueilla parannettu, energiankulutus on kokonaisuudessaan lisääntynyt. Syinä tähän ovat maailman väestönkasvu, kohonnut elintaso ja parempi hyvinvointi. Palveluja ja tavaroita tarvitaan jatkuvasti lisää. Niiden tuottamisessa olisi tehostamisen tarvetta ja näin vähentää käytettyä energiaa. Koska kuitenkin kustannustehokkuus on yritykselle tärkeää, energiaa säästäviä toimia ja muutoksia ei useinkaan haluta tehdä ilman siitä saatavaa hyötyä tai pakkoa poliittiselta taholta.

Euroopan unionin ilmasto- ja energiapolitiikan keskeisiä sitoumuksia vuoteen 2020 mennessä ovat kasvihuonepäästöjen vähentäminen 20 %:lla, uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen 20 %:iin energian loppukulutuksesta sekä energiatehokkuuden parantaminen 20 %:lla [2.] Jokainen EU:n jäsenvaltio on sitoutunut näihin velvoitteeseen, jotka ovat erisuuruisia eri maissa. Suomessa ympäristöministeriö laatii ohjeita ja määräyksiä energiatehokkuuden parantamiseksi.

Helsingin yliopistolla on liki sata tämän tutkimuksen kannalta kiinnostavaa kiinteistöä. Osa on uudempia kiinteistöjä, joissa on huomioitu energiatehokkuus ilmanvaihdossa ja lämmöntalteenotossa; osa on vanhempia, joissa osassa on jo suoritettu saneeraus

energiatehokkuuden parantamiseksi. Osa kiinteistöistä on tarkoitus saneerata lähivuosina.

Paras tapa parantaa rakennusten energiatehokkuutta on optimoida ilmanvaihtoa. Suurin osa ilmanvaihtoista on toteutettu koneellisilla järjestelmillä, mutta ne eivät täytä nykyisiä standardeja. Jos ilmanvaihto on koneellisesti järjestetty, se on todennäköisesti ylimitoitettu ja poistoilman lämmöntalteenoton hyötysuhteet ovat huonoja.

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena selvittää erilaisten ilmanvaihtojärjestelmien ja laitteiden vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen. Nykyistä keskitettyä ilmanvaihtojärjestelmää verrataan hajautettuun järjestelmään.

Työn alussa halutaan selvittää keskitetyn ja hajautetun ilmanvaihdon teoriaa ja ilmanvaihtokoneen komponenttien valinnan vaikutusta energiatehokkuuteen, kuten lämmöntalteenoton ja rakennuksesta vapautuvien laitelämpökuormien hyödyntämistä.

Työssä lasketaan elinkaarikustannukset ja selvitetään, mistä tekijöistä ne koostuvat.

Opinnäytetyön esimerkkirakennuksessa tutkitaan ao. rakennuksen tyypillisen osan alueen ilmastoinnin energiatehokkuudeltaan optimaalista hajauttamisastetta kun huomioidaan:

- ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiakulutusta
- ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiakulutuksen lisäksi lämmöntalteenoton hyötyjä ottaen huomioon tutkittavan tilan lämmityskuluja
- rakennuksesta vapautuvia laitelämpökuormia. Tarkistetaan eri laitelämpökuormien vaikutuksia.

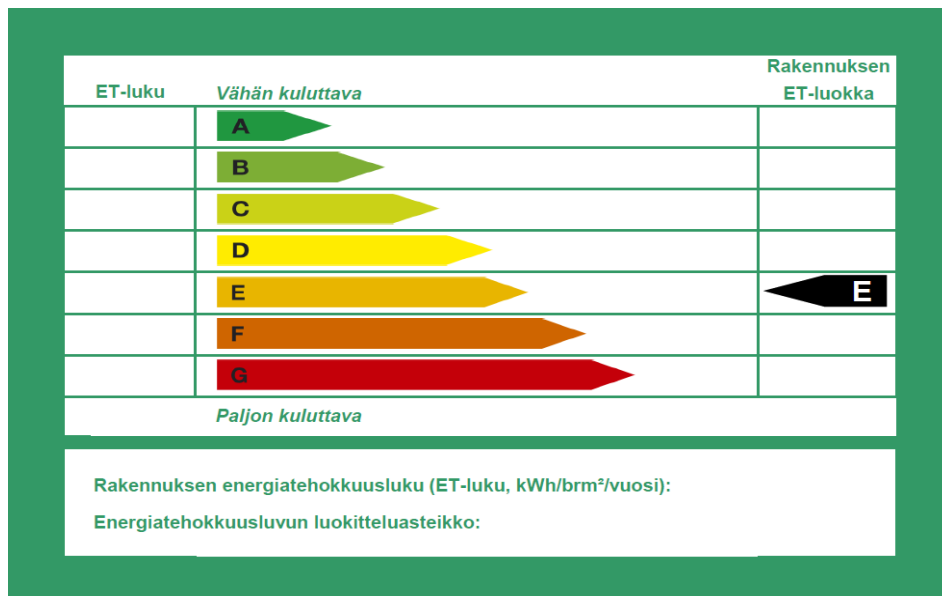
Työ tukee osaltaan suunnittelun edetessä selvitettävää rakennuksen talotekniikkaan soveltuvaa energiatehokkuudeltaan korkealuokkaista kokonaisratkaisua. Nykyisen keskitetyn ilmanvaihdon elinkaarikustannuksia halutaan optimoida ja selvittää, moneenko ilmanvaihtokoneeseen on kannattavaa hajauttaa.

Myös optimoidun ilmanvaihtojärjestelmän vaikutusta rakennuksen lämmityskuluihin halutaan selvittää.

2 Rakennusten energialuokitukset

Rakennuksissa kulutetaan Euroopassa enemmän energiaa, kuin liikenne tai teollisuus kuluttaa. Rakennuksissa kuluu yli 40 % koko Euroopan energian kulutuksesta. Tästä energiamäärästä kaksi kolmasosaa kuluu kotitalouksissa. Tehtyjen selvitysten mukaan rakennusten energian kulutusta Euroopassa voitaisiin vähentää jopa viidenneksellä energiatehokkuutta parantamalla [3]. EU:ssa on laadittu energiatehokkuusdirektiivejä, joita jäsenvaltioiden tulee noudattaa.

Suomessa ympäristöministeriö on laatinut energiatodistusoppaan, jossa määritellään rakennuksen energiatehokkuuslukua [3]. Energiatodistuksen mukaan rakennukset jaetaan energiatehokkuuden mukaan seitsemään eri luokkaan (kuva 1).



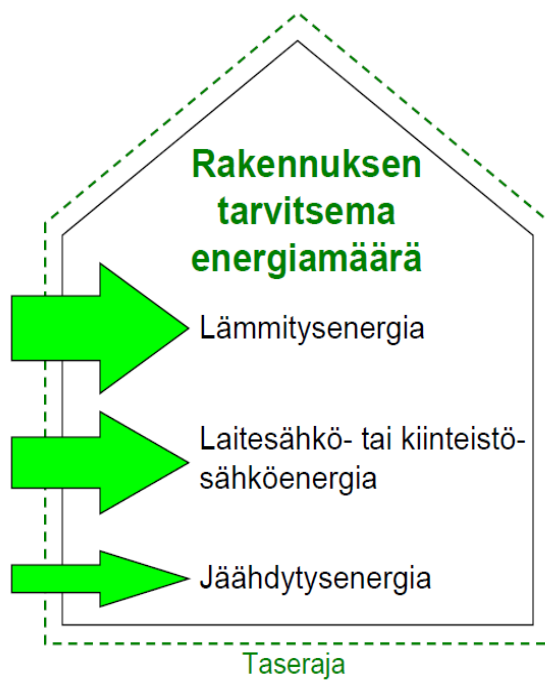
Kuva 1. Rakennuksen energiatehokkuusluokitukset [3].

Energiatodistuksessa käytetään taulukossa 1 esitettyjä rakennustyyppikohtaisia energiatehokkuusluvun luokitteluasteikkoja. Luokitteluasteikko määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen perusteella.

Taulukko 1. Energiatehokkuusluokat rakennustyyppin mukaan [4].

Rakennustyyppi	Energiatehokkuusluokka energiatehokkuusluokineen (kWh/bm ² /vuosi)						
	A	B	C	D	E	F	G
Toimistot	-90	91- 110	111- 130	131- 170	171- 230	231- 320	321-
Liikerakennukset	-140	141- 180	181- 220	221- 280	281- 360	361- 440	441-
Opetusrakennukset	-120	121- 150	151- 190	191- 230	231- 300	301- 400	401-
Päiväkodit	-140	141- 180	181- 230	231- 300	301- 390	391- 500	501-
Terveydenhoitorakennukset	-160	161- 200	201- 260	261- 340	341- 450	451- 600	601-
Kokoontumisrakennukset	-110	111- 140	141- 180	181- 240	241- 330	331- 450	451-
Uimahallit	-300	301- 410	411- 530	531- 670	671- 860	861- 1200	1201-
Muut rakennukset	-110	111- 150	151- 200	201- 280	281- 420	421- 660	661-

Energiatehokkuusluku saadaan jakamalla rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä rakennuksen bruttopinta-alalla. Rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä on lämmitysenergian, sähköenergian ja mahdollisen jäähdytysenergian summa (kuva 2).



Kuva 2. Rakennuksen tarvitsema energiamäärä [3].

Rakennuksen tai rakennusryhmän energiatehokkuusluku lasketaan kaavalla 1.

$$ET = \sum [Q_{\text{lämmitys}} + W_{\text{laitesähkö}} + Q_{\text{jäähdytys, tilat}}] / \sum A \quad (\text{kWh/brm}^2/\text{vuosi}) \quad (1)$$

jossa

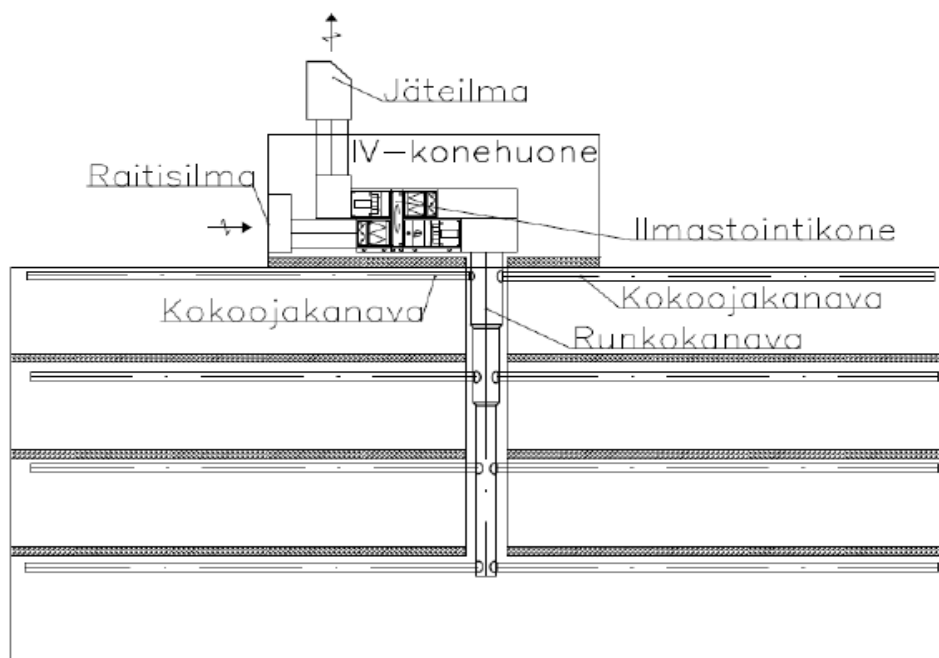
ET	on rakennuksen energiatehokkuusluku, kWh/brm ² /vuosi (ilmoitetaan seuraavaan suurempaan kokonaislukuun)
Q _{lämmitys}	on rakennuksen lämmitysenergiankulutus, kWh/vuosi
W _{laitesähkö}	on rakennuksen laitteiden sähköenergiankulutus, kWh/vuosi
Q _{jäähdytys, tilat}	on rakennuksen tilojen jäähdytysenergiankulutus (jäähdytysjärjestelmään tuotu jäähdytysenergia), kWh/vuosi, vain jos rakennus varustetaan jäähdytysjärjestelmällä.
∑ A	on rakennuksen tai rakennusryhmän yhteenlaskettu bruttopinta-ala, brm ² .

Uudisrakennusten energiankulutukset lasketaan käyttäen RakMk D5/2007:n mukaisia ohjeita. Olemassa olevien rakennusten energiankulutukset puolestaan lasketaan käyttäen RakMk D5/2007:n mukaisia ohjeita tai todellisia energiankulutustietoja.

3 Ilmanvaihtojärjestelmät

3.1 Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä

Ilmanvaihtojärjestelmä voidaan karkeasti jakaa kahteen eri järjestelmään, keskitettyyn ja hajautettuun. Keskitettyä ilmanvaihtojärjestelmää käytetään paljon. Sen suunnitteluun on olemassa selvät ohjeet ja määräykset. Järjestelmässä ilmanvaihtokoneet sijaitsevat erillisessä konehuoneessa, josta ilma siirretään vaikutusalueille pystykuiluissa sijaitsevaa runkokanavaa pitkin. Runkokanavasta ilma siirtyy kokoojakanavaa pitkin rakennuksen tilaosiin. Konehuone sijaitsee keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä joko rakennuksen yläosassa, katolla tai kellarissa [5]. Kuvassa 3 on esitetty keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän periaate.



Kuva 3. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän periaate [5].

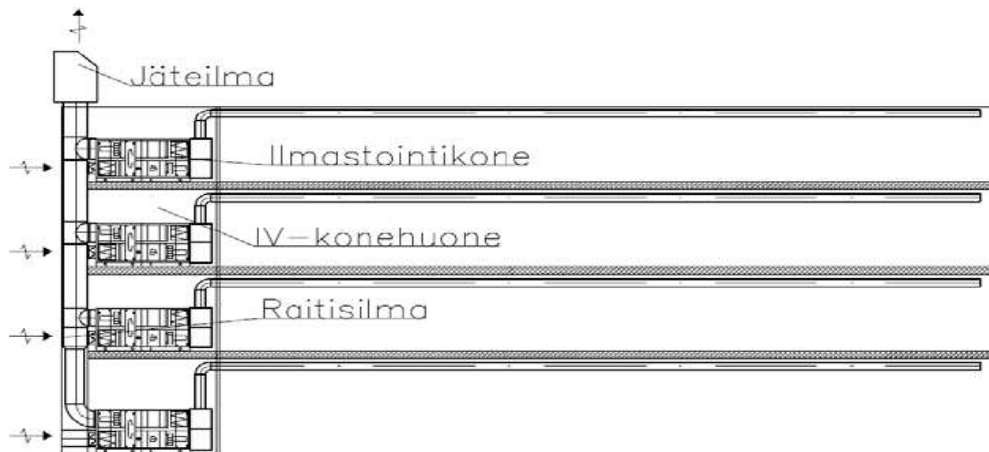
Ilmanvaihtokoneiden lukumäärä riippuu rakennuksen tarvitsemasta ilman tilavuusvirran määrästä, rakennuksen korkeudesta ja siitä, miten eri tila-alueet jaetaan koneiden kesken.

Ilmanvaihtokoneiden lukumäärän vähentäminen pienentää konehuoneen tilan tarvetta, mutta kasvattaa koneiden kokoa ja tarvittavien kanavistojen pituuksia. Isojen koneiden huoltaminen tai uusiminen on vaikeampaa ja kalliimpaa, etenkin jos huoltoa varten joudutaan tekemään purku- ja rakennustöitä. Huollosta tai kanavamuutoksista johtuvat

käyttökatkokset voivat lamauttaa koko rakennuksen toiminnan. Pitkät kanavistot vaikeuttavat painehäviön lisäksi järjestelmän säädettävyyttä. Ilmanvaihtokoneiden lukumäärän kasvattaminen lisää tarvittavan konehuoneen ja kuilujen tilatarvetta, mutta helpottaa kanavamuuksien toteuttamista ja rakennuksen toiminnan ylläpitämistä käyttökatkoksista huolimatta. [5.]

3.2 Hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä

Hajautetulle ilmanvaihdolle ei tarkkaa konseptia tai ohjeistusta ole. Periaatteena on joko rakennuksen tiloja palvelevien ilmanvaihtokoneiden hajauttaminen lähelle tiloja, joissa on ilmanvaihdon tarpeita, tai vaihtoehtoisesti konehuoneeseen. Hajautus voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 4 mukaisesti, jolloin ilmanvaihtokoneet ovat sijoitettuna konehuoneeseen rakennuksen yläosaan.[5.]

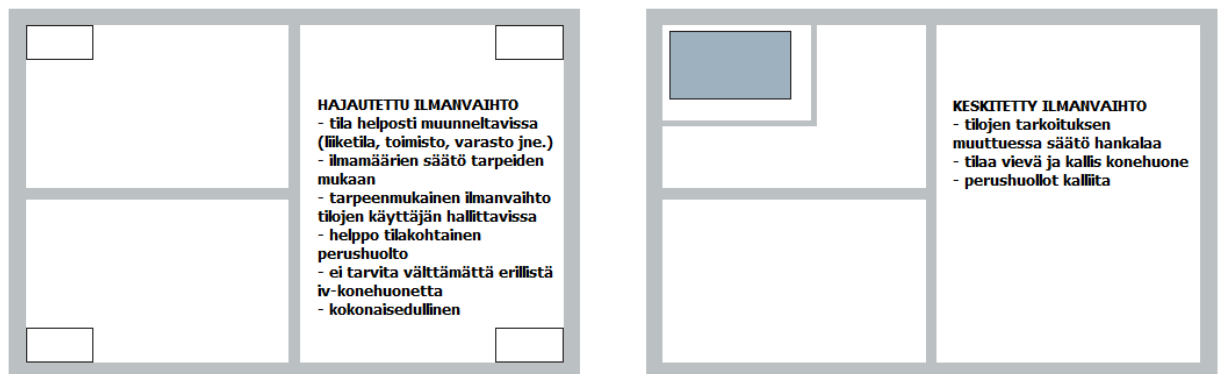


Kuva 4. Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän periaate [5].

Ongelmaksi hajautetussa ilmanvaihtojärjestelmässä voidaan lukea raitisilma- ja jäteilmakanaviston toteuttaminen rakennusmääräyskokoelman D2 määräyksien mukaisesti. Poistoilmaluokan 1 jäteilma voidaan puhalttaa ulos samalta seinältä, mistä ilmanvaihtokoneen raitisilma saadaan, mutta rajoituksena on maksimissaan tilavuusvirta $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ja tarvittavat etäisyydet naapuritonttiin, vastapäiseen rakennukseen ja raitisilmalaitteeseen [6]. Jos koneiden raitis- ja jäteilmakanavistot toteutetaan kukin omalla kanavalla, ongelmaksi tulee kanavien tarvitsema suuri tilantarve. Järjestelmissä, joissa käytetään yhteistä jäteilmakanavaa, täytyy huomioida järjestelmän palotekninen turvallisuus. Paloturvallisuus ja äänenvaimennus tulee ottaa huomioon myös rakennuksen sisälle tulevien konehuoneiden suunnittelussa ja rakentamisessa.

Hajautetulla ilmanvaihtojärjestelmällä saavutetaan paremmin tarpeenmukaista ilmanvaihtoa keskitettyyn ilmanvaihtoon verrattuna. Ilmanvaihto voidaan helpommin ohjata ja optimoida eri tilakohtaisilla antureilla. Ilmamäärän kasvattaminen lisää tarvittavan konehuoneen ja kuilujen tilatarvetta, mutta helpottaa kanavamuutoksien toteuttamista ja rakennuksen toiminnan ylläpitämistä käyttökatkoksista huolimatta. Investointikustannuksiltaan hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä on keskitettyä ilmanvaihtojärjestelmää kalliimpi. Kuvassa 5 on yhteenveto hajautetun ilmanvaihdon etuja verrattuna keskitettyyn ilmanvaihtoon [7].

HAJAUTETUN ILMANVAIHDON ETUJA VERRATTUNA KESKITETTYYN

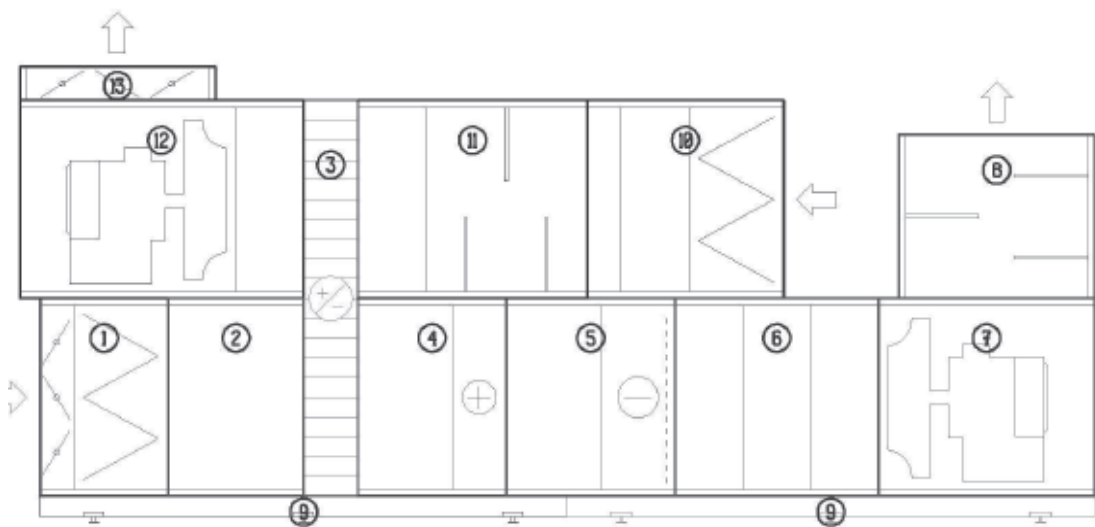


Kuva 5. Hajautetun ilmanvaihdon etuja verrattuna keskitettyyn ilmanvaihtoon [7].

4 Ilmanvaihtokone

4.1 Ilmanvaihtokoneen komponentit

Ilmanvaihtokoneet on yleensä koottu tehdasvalmisteisista modulaarisista osista käyttötarkoituksen mukaisiksi kokonaisuuksiksi. Sopivia osia yhdistelemällä saadaan aikaan haluttu ilmaprosessi. Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuus ja energiatehokkuus riippuu ilmanvaihtokoneiden oikeanlaisesta mitoitus- ja laitteiden valinnasta. Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen ilmaprosessikone osineen [8].

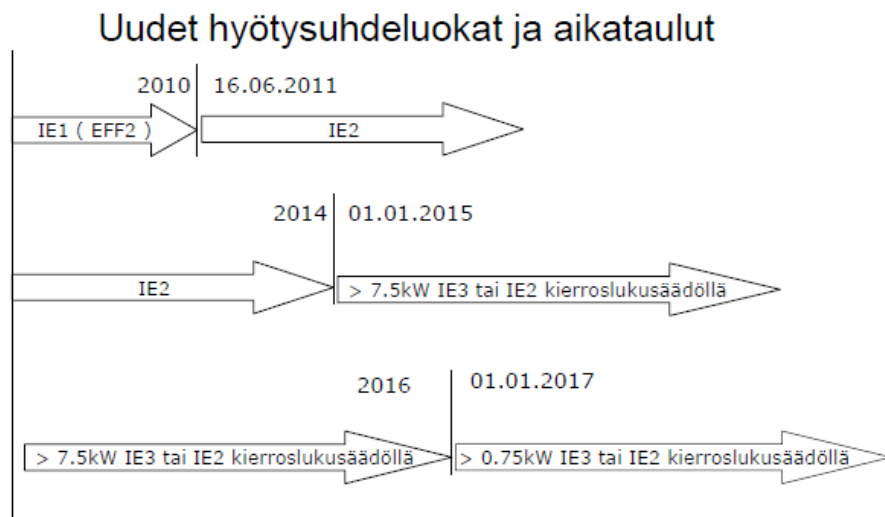


Kuva 6. Ilmaprosessikone osineen [14].

1= Ulkoilmasäleikkö, pelti ja suodatinosa, 2= Huolto-osa, 3= Lämmitys- / jäähdytyspatteri, 4= Pyörivä lämmönsiirrin, 5= Lämmöntalteenotto-osa, 6= Jäähdytysosa, 7, 8= tuloilmapuhallin ja huoltotila, 9= äänenvaimentimet, 10= Suodatinosa, 11= Äänenvaimennusosa, 12= Poistoilmapuhallin, 13= säleikkö, pelti

4.2 Puhallin

Puhaltimien sähköenergiakulutuksella on suuri merkitys ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuudessa. Euroopan tasolla on laadittu uudet direktiivit, jotka pakottavat moottorivalmistajia kehittämään uusia tehokkaampia moottoreita. Energiaa käyttävien tuotteiden (Energy using Products = Eup) moottoridirektiivi (640/2009/EY) asettaa uudet tiukat vaatimukset energiatehokkuudelle. Eup-direktiivillä on puututtu IEC-moottoreiden hyötysuhdeluokkiin. Aikaisemmin moottoreiden hyötysuhdeluokat oli jaettu luokkiin EFF1, EFF2 ja EFF3, joista EFF1:llä on paras hyötysuhde. Tavallisimmin käytetyt moottorit tähän päivään saakka ovat olleet EFF2-moottorit. Uuden luokituksen mukaan IE1 vastaa EFF2:a. Kesäkuussa 2011 luokka IE1 poistuu kokonaan käytöstä. Kuvasta 7 nähdään uudet IEC-moottoreiden hyötysuhdeluokitukset ja aikataulut.[9.]



Kuva 7. Uudet hyötysuhdeluokat ja aikataulut [8].

Uudet direktiivit ovat pakottaneet moottorivalmistajia kehittämään moottoreitaan tehokkaimmiksi. Osa moottorivalmistajista on tutkinut jopa vaihtoehtoista teknologiaa, kuten jo 1970-luvulla tutuksi tullutta tasavirtamoottoritekniikkaa. Osa puhallinvalmistajista on kehittänyt EC-moottoreita (Electronically commutated motors). EC-tekniikka perustuu kehitettyyn tasavirtamoottoritekniikkaan. EC-moottorilla on korkea hyötysuhde kaikilla kierrosluvuilla. Lisää tietoja EC-puhallintekniikasta saa Ziehl-Abeggin kotisivuilta www.ziehl-abegg.fi tai Tom Eklundin tekemästä insinööriyöstä vuodelta 2008.

4.3 Lämmöntalteenotto (LTO)

Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian tarpeeseen voidaan vaikuttaa lämmöntalteenoton avulla. Tällöin lämpimästä poistoilmasta voidaan ottaa talteen osa lämpösisällöstä ja siirtää tuloilmaan. Lämmönsiirto on sitä tehokkaampaa, mitä suurempi lämpötilaero on lämpöä luovuttavan ja sitä vastaan ottavan aineen välillä. [5.] Pohjoisessa ilmastossa on järkevää investoida lämmöntalteenottoon, koska mitä kylmempi ulkoilma on, sitä enemmän lämpöä saadaan talteen poistoilmasta. Investoinnin takaisinmaksuaika on lyhyt, ja investointi on kannattava. Lisäksi lämmöntalteenoton käyttöä on ohjattu rakennusmääräyksin ja ainoastaan poikkeustapauksissa voidaan jättää se pois. [10.]

Lämmöntalteenotossa käytettävät lämmönsiirtimet luokitellaan rekuperatiivisiin tai regeneratiivisiin riippuen siitä, miten lämpö poistoilman ja tuloilman välillä siirretään. Suoralla rekuperatiivisella lämmönsiirtimellä tarkoitetaan useista levyistä koostuvaa levylämmönsiirrintä, joka erottavaa ilmavirrat toisistaan. Lämmön siirtyminen tapahtuu levyjen läpi lämpimästä ilmavirrasta kylmempään ilmavirtaan. Levylämmönsiirtimen levyt ovat metallia, yleensä alumiinia. Levyt erottavat ilmavirrat toisistaan, minkä seurauksena kosteutta ei siirry ilmavirroista toisiinsa. Levyt voidaan tehdä myös sellaisista materiaaleista, jotka läpäisevät kosteutta. Yksi levylämmönsiirtimen eduista on sen tiiviys: yleensä vuodot ovat hyvin pieniä. Jäätymissuojana on yleensä joko esilämmitetty ulkoilma tai lämmönsiirtimen ohitus. Näin lämmönsiirrin pysyy sulana, mutta sen lämpötilasuhde huononee. Lämmönsiirtimen ohitusta käytetään myös kesällä, ettei tuloilma lämpene liikaa. [11.] Tyypillisen levylämmönsiirtimen lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde on noin 50–70 %. Nestekiertoisessa järjestelmässä on epäsuora rekuperatiivinen lämmönsiirrin. Liuospiirissä kiertää kylmäaine, joka on tyypillisesti noin 30-%:nen vesietyleeniglukooliseos. Nestekiertoinen järjestelmä siirtää ainoastaan lämpöenergiaa, ei kosteutta. Järjestelmä toimii parhaiten yhtä suurilla ilmavirroilla. Tätä sovellusta voidaan käyttää silloin, kun ilmanvaihdon tulo- ja poistokoneet sijaitsevat eri tiloissa ja konehuoneeseen ei mahdu levy- tai pyörivä lämmöntalteenotto ja halutaan varmistua, ettei poistoilmasta tule epäpuhtauksia tuloilmaan. [11.] Nestekiertoisen lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhde on noin 45–60 %.

Regeneratiivisella lämmönsiirtimellä tarkoitetaan pyörivää lämmönsiirrintä, joka koostuu ilmaa läpäisevästä täytetystä sylinteristä, ns. kiekosta. Kiekolla on suuri sisäinen

pinta-ala useiden välilevyjen ansiosta. Rinnakkain olevat tulo- ja poistoilmavirrat virtaavat puolikkaan kiekon läpi vastavirtaperiaatteella. Lämpöenergiaa siirtyy poistoilmasta tuloilmaan kiekon pyöriessä. Kiekon materiaalista riippuen kiekko siirtää joko pelkää lämpöä tai sitten lämpöä ja kosteutta ilmavirroista toisiinsa. Kiekkoa pyörittää yleensä taajuusmuuttajakäyttöinen moottori [11]. Pyörivän lämmöntalteenoton hyötysuhde on noin 50–85 %.

Lämmöntalteenoton teho kuvataan yleensä erilaisilla hyötysuhteilla. Osa hyötysuhteista kertoo laitteen ominaisuuksista, osa taas toiminnasta koko ilmanvaihtojärjestelmässä tai rakennuksessa. Lämpötilahyötysuhteessa vertaillaan tulo- ja poistoilman lämpötilan nousua tai laskua suhteessa ulko- tai jäteilmaan. Lämmöntalteenottojärjestelmien valmistajat ilmoittavat järjestelmien hyötysuhteet pääsääntöisesti lämpötilahyötysuhteina. [5.] Lämpötilahyötysuhde tuloilmalle lasketaan kaavalla (2):

$$\eta_{tulo} = \frac{t_{tulo} - t_{ulko}}{t_{poisto} - t_{ulko}}, \quad (2)$$

jossa t_{tulo} on tuloilman lämpötila LTO:n jälkeen, t_{ulko} on ulkoilman lämpötila, t_{poisto} on poistoilman lämpötila ja $t_{jäte}$ on jäteilman lämpötila LTO:n jälkeen.

Vastaavasti poistoilmalle lämpötilahyötysuhde lasketaan kaavalla (3):

$$\eta_{poisto} = \frac{t_{poisto} - t_{jäte}}{t_{poisto} - t_{ulko}}, \quad (3)$$

Lämpötilahyötysuhteet ovat yhtä suuret, jos ilmavirrat ovat samat, lämmönsiirrin oletetaan kuivaksi ja jäätymisen estoa tai lämpötilan rajoituksia ei ole. Jos ilmavirrat eivät ole yhtä suuria, voidaan lämpötilahyötysuhde laskea riittävällä tarkkuudella kaavalla (4):

$$\eta_{tulo(R_{LTO}=1)} = \frac{(1 + R_{LTO})}{2} \cdot \eta_{t(R_{LTO})}, \quad (4)$$

jossa R_{LTO} on lämmöntalteenoton läpi kulkevien tulo- ja poistoilmavirtojen suhde.

Vuosihyötysuhteen käyttö on oleellisempi lämmöntalteenoton tehokkuutta kuvaava suure kuin lämpötilahyötysuhde, sillä se kuvaa paremmin ilmanvaihdossa säästettävää energian määrää. Vuosihyötysuhde kertoo koko lämmityskauden aikana talteenotettavan ja hyödynnettävän lämpömäärän suhteen rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään. Lämpötilahyötysuhde ja vuosihyötysuhde kertovat siis lämmöntalteenottojärjestelmän avulla säästetyn lämpöenergian määrän, mutta eivät huomioi järjestelmästä aiheutuvaa sähköenergian kulutusta. Sähköenergian kulutus johtuu pääsääntöisesti painehäviön aiheuttamasta puhaltimen tehon tarpeen nostosta.

Useimmat ilmanvaihtokonevalmistajat määrittelevät lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhdetta ilmanvaihtokoneen mitoitusohjelmalla. Vuosihyötysuhde voidaan helposti määritellä Mika Vuolteen tekemällä vuosihyötysuhdelaskentaohjelmalla [12].

4.4 Lämmitys

Ilmanvaihtokoneissa lämmityspatterit toimivat yleensä joko vedellä tai sähköllä. Jos kiinteistössä on kaukolämmöllä toimiva lämmönjakokeskus, lämmitetään yleensä kaukolämmöllä myös ilmanvaihtokoneiden patteriverkoston vesi. Vedellä toimiva lämmityspatterin käyttö on sähköpatterin käyttöä tehokkaampaa ja taloudellisempaa.

5 Projekti: Kemian laitos, Kumpula

5.1 Rakennuksen yleistiedot

Helsingin yliopiston Kemian laitoksen rakennus Kumpulassa on rakennettu vuonna 1994 (kuva 8). Rakennus koostuu neljästä kerroksesta, ja se on rakennettu aikaan, kun energia oli halpaa. Rakennuksen lämmitettävä brutto pinta-ala on 19843 m². Rakennus on yhdistetty kaukolämpöön. Rakennuksessa on jäähdytys, joka palvelee pääosin tutkimuslaitteita ja pienin osin vaativiin tilojen jäähdyttämiseen.



Kuva 8. Kemianlaitos, Kumpula.

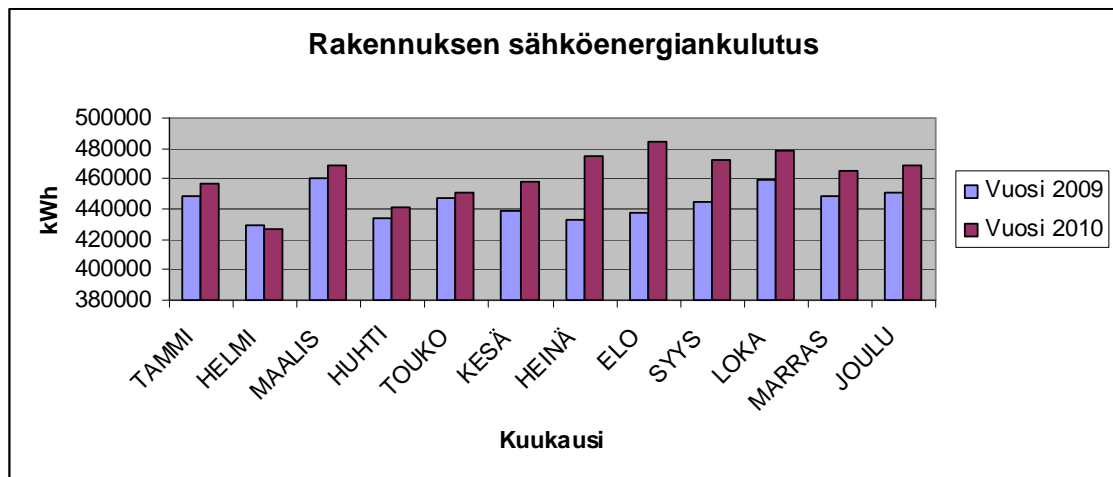
Rakennuksen tilat edustavat seuraavia tilaluokkia:

Hallinto- ja liiketilat, 3038 m²
Opetus- ja tutkimustilat, 7030 m²
Erityistilat, 114 m²
Säilytystilat, 673 m²
Ruokailu- ja keittiötilat, 814 m²
Sosiaali- ja virkistystilat, 427 m²
Yhteistilat, 262 m²
Liikenne- ja tekniset tilat, 7485 m²
Yhteensä: 19843 m²

Tilatiedot on otettu Helsingin yliopiston käyttämästä optimize.net ohjelmasta (liite 1). Tiedot ovat nettopinta-aloja; bruttopinta-alat laskettu arkkitehdilta saatujen tietojen perusteella.

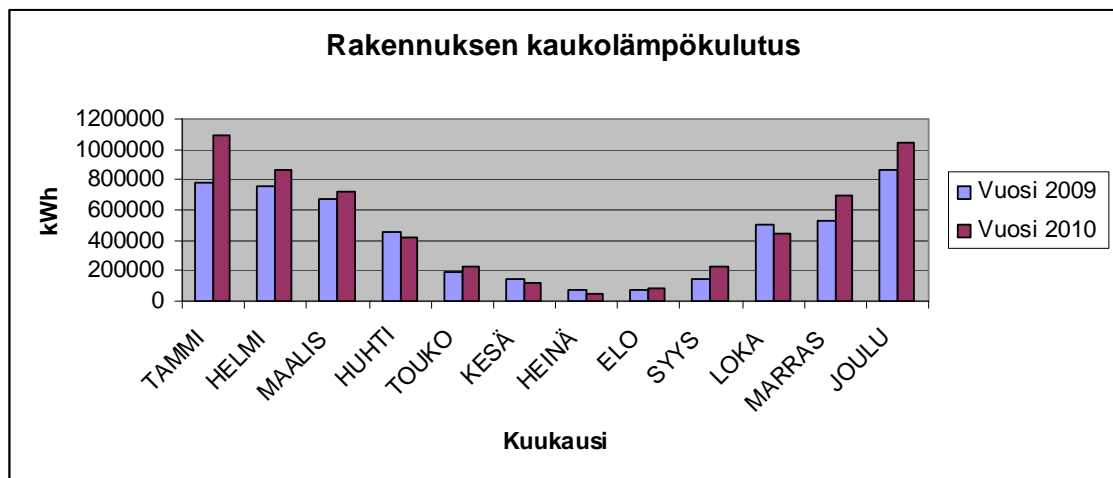
5.1.1 Sähköenergiankulutus

Rakennuksen sähköenergiakulutukset on kerätty Helsingin yliopiston käyttämästä elli-net-ohjelmasta (liite 2). Kuvasta 9 nähdään vuoden 2009 ja 2010 kuukausittaiset sähköenergiankulutukset. Rakennuksen sähköenergiankulutus vuodelle 2009 oli 5 333 729 kWh ja vuodelle 2010 se oli 5 547 539 kWh, noin 4 % suurempi kylmän talven vuoksi.



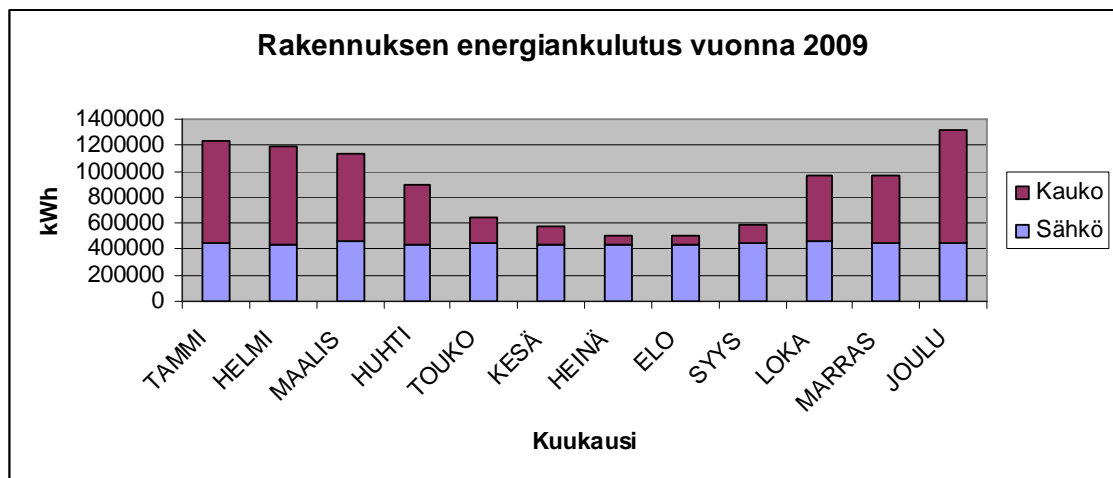
Kuva 9. Rakennuksen sähköenergiankulutukset.

Kaukolämpökulutukset on otettu Ryhti-nimisestä ohjelmasta (liite 3). Kuukausittaiset kaukolämpökulutukset nähdään kuvasta 10.



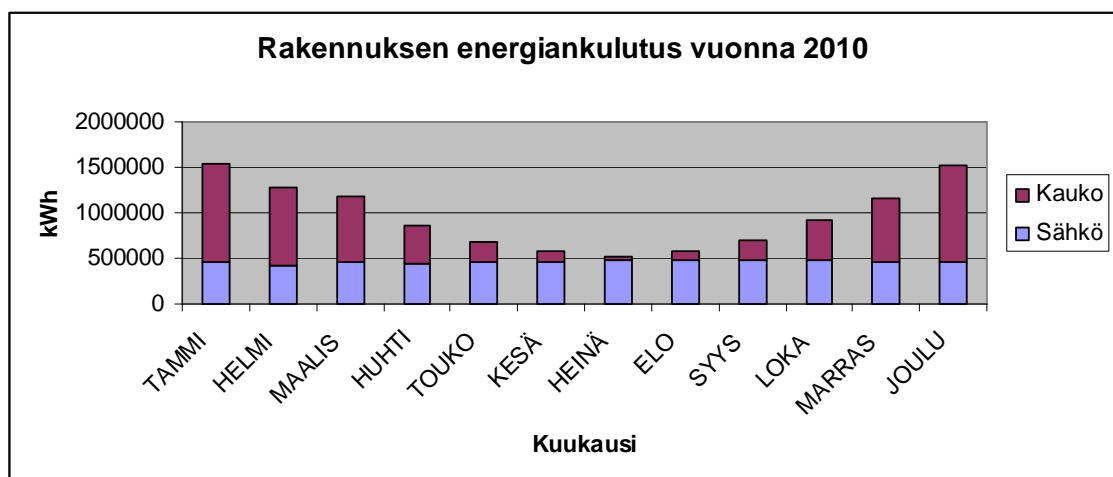
Kuva 10. Rakennuksen kaukolämpökulutus.

Rakennuksen kokonaisenergiakulutukset sisältävät laitteiden, valaistuksen ja lämmityksen kokonaiskulutukset. Rakennuksen laitekuorma on suuri johtuen kemian laitoksen erikoislaitteista, jotka kuluttavat paljon energiaa. Rakennuksen sähkölaitteiden jatkuva kokonaiskuorma on Helsingin yliopiston aikaisempien arvioiden mukaan noin 200 kW. Kuvassa 11 on esitetty rakennuksen kuukausittaiset energiakulutukset vuonna 2009, ja kuvassa 12 vuoden 2010 energiankulutukset. Kokonaisenergiankulutukset vuonna 2009 olivat noin 10 502 MWh ja vuonna 2010 noin 11 532 MWh. Vuoden 2010 kylmän talven vuoksi kokonaisenergiankulutus nousi noin 10 %.



Kuva 11. Rakennuksen energiankulutus vuonna 2009.

Kuvassa 12 rakennuksen vuoden 2010 energiankulutukset.

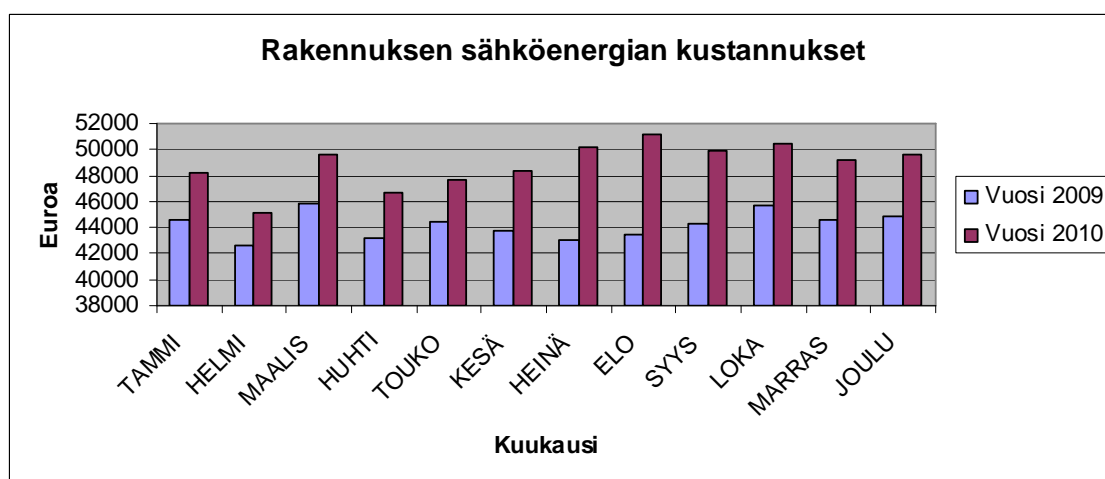


Kuva 12. Rakennuksen energiankulutus vuonna 2010.

On todettava, että rakennuksen energiankulutus on todella suuri ja jos halutaan tarkistaa rakennuksen ET-lukua todellisten energiankulutusten mukaan, saadaan vuodelle 2009 ET-luvuksi 529 kWh/bm²/vuosi ja vuodelle 2010 puolestaan saadaan 581 kWh/bm²/vuosi. Kemian laitos luokitellaan rakennustyyppiltään ryhmään ”muut rakennukset”, jolloin 441–660 kWh/bm²/vuosi kuuluu luokkaan F.

5.1.2 Sähköenergian kustannukset

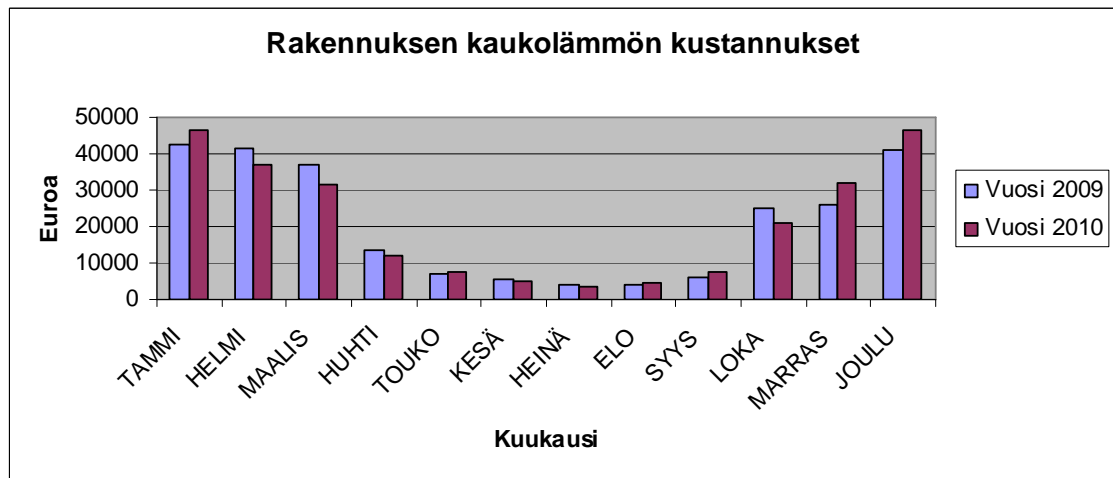
Rakennuksen sähköenergian hinta vuodelle 2009 oli keskimäärin 0,0994 €/kWh sisältäen arvonlisäveron. Sähköenergian kokonaiskustannukset vuonna 2009 olivat 530 173 €. Rakennuksen sähköenergian hinta vuodelle 2010 oli keskimäärin 0,1057 €/kWh sisältäen arvonlisäveron. Sähköenergian kokonaiskustannukset vuonna 2010 olivat 586 375 €. Kuvasta 13 rakennuksen kuukausittaiset sähköenergian kustannukset.



Kuva 13. Rakennuksen sähköenergian kustannukset.

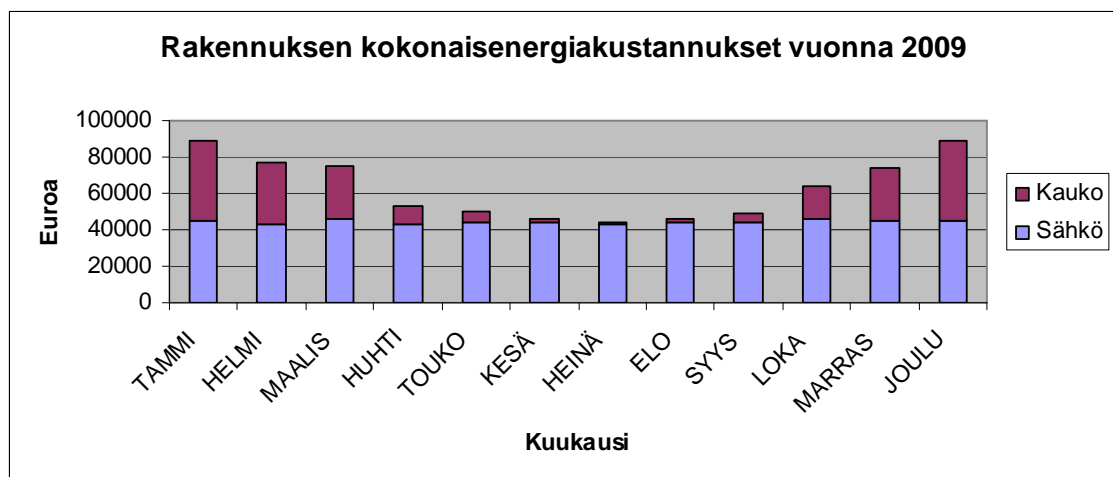
Rakennuksen kaukolämmön energian hinnat saatiin Helsingin Energian hinnastosta (liite 4), ja vesivirtausmaksut ovat Helsingin yliopiston mukaan 30 m³/h. Verolliset kaukolämpökustannukset vuonna 2009 olivat 253 703 € ja vastaavat kustannukset vuonna 2010 olivat 254 529 €.

Kuvassa 14 esitetään kaukolämmön kuukausittaiset kustannukset vuosina 2009 ja 2010.



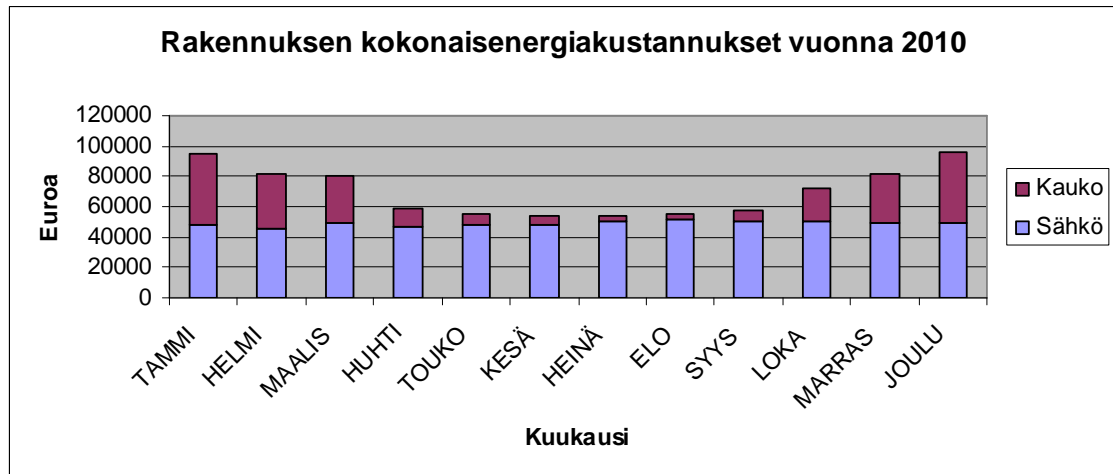
Kuva 14. Rakennuksen kaukolämmön kustannukset.

Rakennuksen kokonaisenergiakustannukset vuonna 2009 olivat 479 239 € ja vuonna 2010 ne olivat 534 440 €. Rakennuksen kokonaisenergiakustannukset nousivat vuonna 2010 noin 12 %. Kuvassa 15 ilmenevät rakennuksen kuukausittaiset kokonaisenergiakustannukset vuonna 2009.



Kuva 15. Rakennuksen kokonaisenergiakustannukset vuonna 2009.

Vastaavasti kuvasta 16 nähdään rakennuksen vuoden 2010 kokonaisenergiakustannukset.



Kuva 16. Rakennuksen kokonaisenergiakustannukset vuonna 2010.

5.1.3 Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmä

Rakennuksen ilmanvaihto hoidetaan neljällä päävyöhykkeen keskitetyllä ilmanvaihdolla. Ilmanvaihtokoneet sijaitsevat omassa konehuoneessa rakennuksen yläosassa. Ilmanvaihtojärjestelmä on jaettu neljään vyöhykkeeseen, jotka palvelevat omia alueitaan. Ilmanvaihtokanavat ovat pystysuorassa. Osassa ilmanvaihtokoneissa on alkuperäisiä molemmiin puolin imeviä, hihnakäyttöisiä keskipakopuhaltimia varustettuina 2-nopeusmoottoreilla, ja osaan on aikaisemmin määräaikaishuoltojen yhteydessä vaihdettu taajuusmuuttajalla kierroslukuohjattavia suorakäyttöisiä kammiopuhaltimia. Jäähdytys puuttuu.

5.1.4 Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä B214

Tutkittava ilmanvaihtojärjestelmä koostuu yhdestä tuloilmakoneesta (TF214) ja yhdestä poistoilmakoneesta (PF214). Ilmanvaihtokoneet on varustettu kammiopuhaltimilla, ja kierroslukusäätö on tarkoitus hoitaa taajuusmuuttajalla. Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän (B214) konekortit nähdään liitteestä 5. Ilmanvaihtojärjestelmä kattaa 1331 m²:n tilat. Tarkemmat tilakohtaiset kuvat löytyvät liitteestä 6. Tilat on jaettu seuraavasti:

Varastotilat: 56 m²
 Toimistotilat: 45 m²
 Erikoislaboratoriot: 1161 m²
 Työpajat ja verstaat: 69 m²
 Yhteensä: 1331 m²

Ilmanvaihtojärjestelmän nykyiset ilmamäärät ovat 10–20 % ylimitoitettuja, mikä johtuu siitä, että aikanaan suunnittelussa lähtökohtana olivat tulevaisuuden lisätarpeet veto-kaappien osalta. Ilmanvaihto ei toteudu säädöltään tarpeenmukaisena, koska veto-kaappien poistopuolen säätimet eivät osin toimi syövyttävien poistojen johdosta ja jäävät auki-asentoon. Myös vetokaappien ohjaus- ja säätö edellyttää nykyaikaistamista. Lisäksi rakennuksessa ei ole kattavaa jäähdytysjärjestelmää tilakohtaisia tutkimuslaitteita varten ja ilmanvaihtoa käytetään tarpeettomasti myös tilojen laitekuormien ylimääräisen poistoon.

Lähtökohtana oletetaan tutkittavan tilan kokonaisenergiakulutuksen olevan samaa luokkaa kuin rakennuksen kokonaisenergiakulutuksen vuonna 2010, eli noin 581 kWh/bm²/vuosi.

5.1.5 Ominais sähkötehon määrittäminen

Suomen Rakentamismääräyskokoelman osa D2 asettaa ominais sähköteholle SFP (Specific Fan Power) enimmäisarvon 2,5 kW/(m³/s). Tämä arvo koskee tavanomaisia kohteita (asunnot, toimistot, koulut yms.). Tavanomaisia poikkeavista kohteissa hyväksytään korkeampi SFP-arvo. [13.]

Ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho SFP

Koko ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho SFP on rakennuksen koko ilmanvaihtojärjestelmän kaikkien puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho jaettuna ilmanvaihtojärjestelmän koko mitoitusjäteilmavirralla tai mitoitusulkoilmavirralla (suurempi näistä). Ilmanvaihtojärjestelmän sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimien moottorien sähkötehon lisäksi mahdollisten taajuusmuuttajien ja muiden tehonsäätölaitteiden sähkötehon [13]. Ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho lasketaan kaavan 5 mukaan.

$$SFP = \frac{P_{tuloilmapuhaltimet} + P_{poistoilmapuhaltimet}}{q_v} \quad (5)$$

SFP on ilmanvaihtojärjestelmän ominais sähköteho, kW/(m³/s)

$P_{tuloilmapuhaltimet}$ on tuloilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW

$P_{poistoilmapuhaltimet}$ on poistoilmapuhaltimien ottama sähköteho yhteensä, kW
 q_v on mitoittava jäteilmavirta tai ulkoilmavirta, m³/s.

Tulo- ja poistoilmakojeen ominaissähköteho SFP

Ilmankäsittelykoneen (joka sisältää tulo- ja poistoilmakoneen) ominaissähköteho SFP on puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kW jaettuna koneen tulo- tai poistoilmavirralla m³/s, suuremmalla näistä. Sähkön ottoteho lasketaan mitoitusilmavirralla kaavan 6 mukaan. [13.]

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{q_v} \quad (6)$$

SFP on ilmankäsittelykoneen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

P_{tulo} on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW

P_{poisto} on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho, kW

q_v on koneen ilmavirroista suurempi (tulo tai poisto), m³/s.

Yksittäisen ilmanvaihtokoneen tai erillisen puhaltimen ominaissähköteho SFP

Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimen (ilmanvaihtokoneen) ominaissähköteho on puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho jaettuna puhaltimen mitoitusilmavirralla kaavan 7 mukaan. Puhaltimen sähköverkosta ottama sähköteho sisältää puhaltimen moottorin sähkötehon lisäksi mahdollisen taajuusmuuttajan ja muun tehosäätölaiteen sähkötehon [13].

$$SFP = \frac{P_{puhallin}}{q_v} \quad (7)$$

SFP on puhaltimen ominaissähköteho, kW/(m³/s)

$P_{puhallin}$ on puhaltimen ottama sähköteho, kW

q_v on puhaltimen ilmavirta, m³/s.

Lähtökohtana on puhaltimien hyötysuhde P_F , jonka se antaa tarvittavan ilmavirran liikuttamiseksi tietyillä vastusolosuhteilla kaavan 8 mukaan. [13].

$$P_F = q_v \cdot \Delta p_F \quad (8)$$

P_F on puhaltimen hyötyteho

q_v on puhaltimen ilmavirta

Δp_F on puhaltimen paineenkorotus.

Puhallinmoottorin ottama sähköteho lasketaan kaavan 9 mukaan.

$$P_E = \frac{q_v \cdot \Delta p_v}{\eta_{kok}} \quad (9)$$

P_E on puhallinmoottorin ottama sähköteho

η_{kok} on puhallinkäytön kokonaishyötysuhde.

Määritelmän mukaan on ominaissähköteho SFP sähköverkosta otettu sähköteho jaettuna ilmavirralla kaavan 10 mukaan.

$$SFP = \frac{P_E}{q_v} \quad \frac{kW}{m^3 / s} \quad (10)$$

SFP on kokonaispainehäviö jaettuna kokonaishyötysuhteella. Siihen voidaan vaikuttaa muuttamalla kanaviston painehäviötä, ilmankäsittelykoneen painehäviötä liitântähäviöineen ja puhaltimen kokonaishyötysuhdetta kaavan 11 mukaan [13].

$$SFP = \frac{q_v \cdot \Delta p_F}{\eta_{kok} \cdot q_v} \quad (11)$$

$$SFP = \frac{\Delta p_v}{\eta_{kok}} \quad (12)$$

$$SFP = \frac{\Delta p_{kanavisto} + \Delta p_{kone}}{\eta_{kok}} \quad (13)$$

Puhallinkäytön kokonaishyötysuhde η_{kok} koostuu useasta eri hyötysuhteesta, ja puhaltimien sähköverkosta ottama teho määritellään kaavan 14 mukaisesti. [13.]

$$P_{sähkö} = \frac{\Delta p_{puhallin} \cdot q_{puhallin}}{\eta_{puhallin} \cdot \eta_{käyttö} \cdot \eta_{moottori} \cdot \eta_{säätö} \cdot 1000} \quad (14)$$

5.1.6 Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon laskenta

Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon (SFP) laskentaan käytetään puhaltimien sähkön ottotehoja mitoitusilmavirralla. Alla on laskettu kaavan 6 mukaan nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän (B214) ominaissähkötehoja. Taulukossa 2 on yhteenveto laskelmista.

$$SFP = \frac{P_{tulo} + P_{poisto}}{q_v} = \frac{30,72 + 31,41}{16,60} \frac{kW}{m^3/s} = \underline{3,74 \text{ kW}/(m^3/s)}$$

Taulukko 2. Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän (B214) ominaissähköteholuvut (SFP).

Tuloilmakone	Ilmavirta	Puhaltimen paine	Sähköteho	Koneen SFP
merkintä	m ³ /s	Pa	kW	kW/(m ³ /s)
B214 TF	16,60	1233	30,72	1,85
Yhteensä	16,60		30,73	

Poistoilmakone	Ilmavirta	Puhaltimen paine	Sähköteho	Koneen SFP
merkintä	m ³ /s	Pa	kW	kW/(m ³ /s)
B214 PF	16,30	1286	31,41	1,93
Yhteensä	16,30		31,41	

Tuloilmavirta, m ³ /s	16,60
Poistoilmavirta, m ³ /s	16,30
Sähkötehot yhteensä, kW	62,13
SFP, kW/(m³/s)	3,74

5.2 Projektin tavoitteet

Rakennukseen on tarkoitus tehdä peruskorjaus, joka on suunniteltu suoritettavaksi syksyllä 2011 tai vuoden 2012 alussa. Tässä opinnäytetyössä on saatu tehtäväksi selvittää, miten voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta. Koska ilmanvaihdon osuus rakennuksen energiankulutuksessa on merkittävän suuri, työ on rajattu ilmanvaihtoon.

Opinnäytetyössä tutkitaan ao. rakennuksen tyypillisen osa-alueen ilmastoinnin energiatehokkuudeltaan optimaalista hajauttamisastetta sekä laitekuormien (lauhdelämpö) hyödyntämistä rakennuksen lämmittämiseen ja sen vaikuttaminen rakennuksen energiatehokkuuteen. Työ tukee osaltaan suunnittelun edetessä selvitettävää rakennuksen talotekniikkaan soveltuvaa energiatehokkuudeltaan korkealuokkaista kokonaisratkaisua.

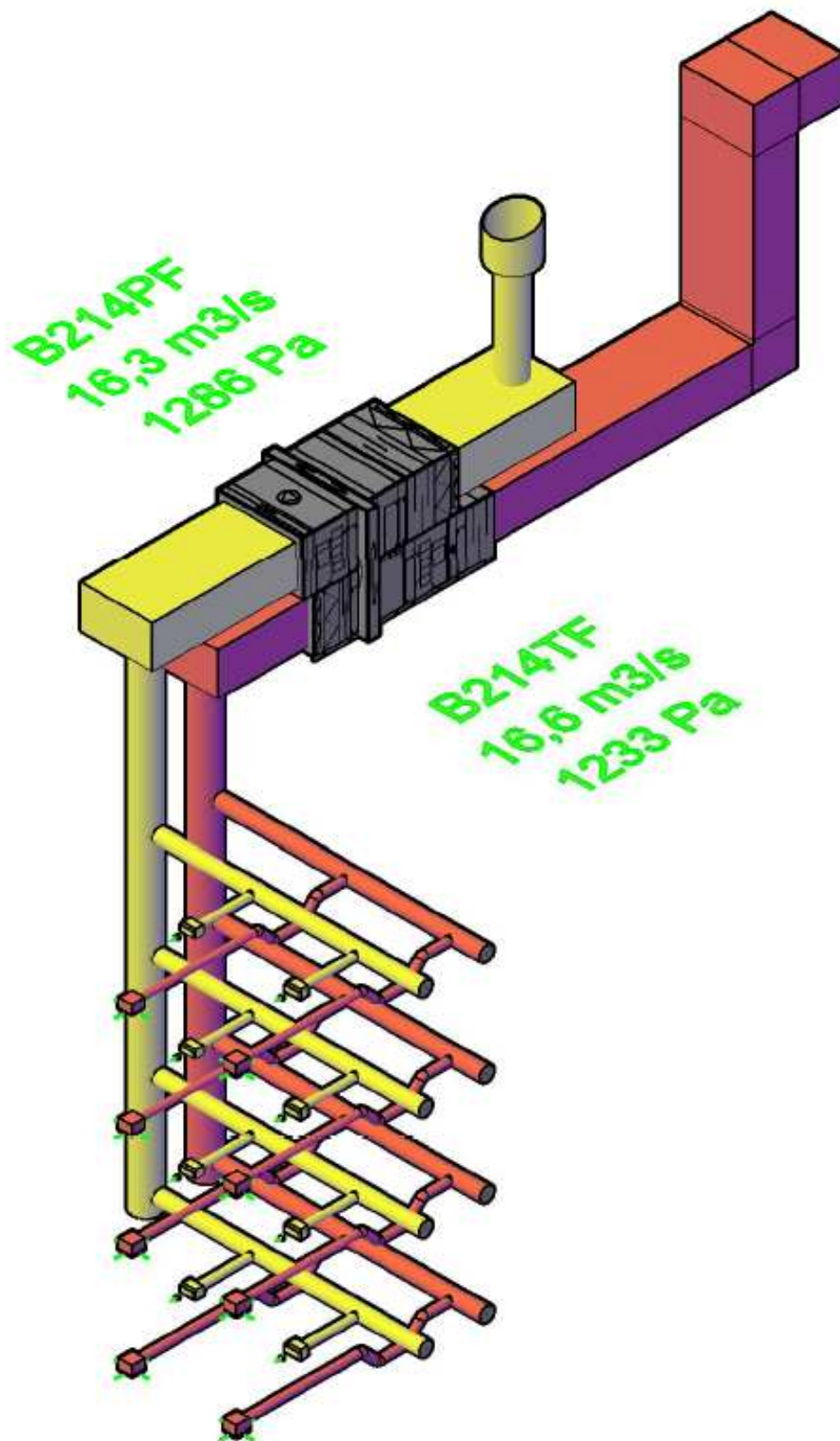
Konkreettiset tavoitteet:

- parantaa rakennuksen energiataloutta
- selvittää ilmanvaihdon järkevintä hajautusastetta
- tarkistaa eri lämmöntalteenottolaitteen vaikutusta rakennuksen energiakulutukseen
- tarkistaa mahdollisuutta hyödyntää rakennuksesta vapautuvia laite-
lämpökuormia rakennuksen lämmittämiseen
- optimoida ilmavirrat (vähentää hukkalämpöä)
- selvittää tarpeenmukainen ilmanvaihto.

5.3 Tarkastettavat vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät

5.3.1 Vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät

Vaihtoehtoisia ilmanvaihtojärjestelmiä verrataan nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmään (B214). Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä on ylimitoitettu, joten ensin optimoidaan il-mavirrat sopimaan paremmin tämänhetkisiin tiloihin. Ilmanvaihdon hajautukset suori-tetaan siten, että 12 m³/s:n koneen tulo- että poistoilma hajautetaan neljään 3 m³/s:n koneeseen, kuuteen 2 m³/s:n koneeseen ja kahdeksaan 1,5 m³/s:n koneeseen. Lisäksi mitoitetaan Recair Oy:n mitoitusohjelmalla ilmanvaihtokoneet, jolloin huomioidaan pu-haltimien optimointia energiataloudellisesta näkökulmasta. Eri ilmanvaihtojärjestelmän hajautusastetta ja kannattavuutta tarkistetaan siten, ettei huomioida tilojen lämmitys-kustannuksia. Lisäksi tarkastellaan ilmanvaihtokoneita, jotka ovat varustettuja vesi-glykolilämmöntalteenotolla ja vaihtoehtoisesti pyörivällä lämmöntalteenotolla. Tällöin halutaan tarkistaa hajautusastetta ja kannattavuutta, kun huomioidaan lämmöntal-teenoton hyötyjä laskien mukaan tilojen lämmityskustannukset. Koska rakennuksessa ei ole jäähdytystä, niin halutaan tarkistaa vielä sitä, kun lisätään lauhdutinyksikkö il-manvaihtokoneisiin, ja tarkastella lauhdelämmön hyödyntämistä rakennuksen lämmit-tämisessä. Puhaltimet mitoitetaan Ziehl-Abeggin mitoitusohjelmalla [14]. Puhaltimet varustetaan mahdollisuuksien mukaan joko IE2 hyötysuhdeluokan moottoreilla tai EC-moottoreilla. Liitteestä 7 nähdään ilmanvaihtokoneiden mitoitus tiedot ja esimerkkinä ilmanvaihtojärjestelmä 1:n mitoitusajot. Puhallinmitoitukset ovat liitteessä 8. Kuvassa 17 esitetään nykyinen keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä B214, joka koostuu yhdestä koneparista.



Kuva 17. Nykyinen keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä B214.

5.3.2 Ilmanvaihtojärjestelmien mitoitusarvot ja ominaissähkötehot

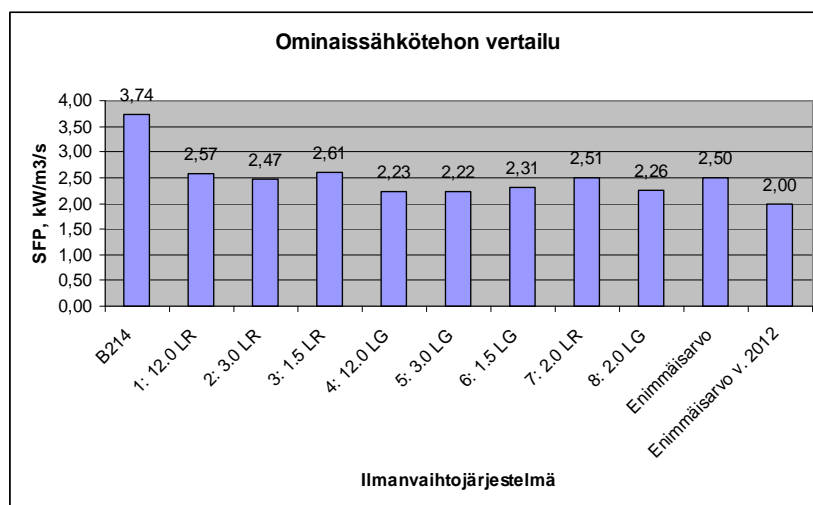
Taulukossa 3 esitetään vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien mitoitusarvot ja SFP-luvut.

Taulukko 3. Eri ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehot (SFP).

Tuloilmakone	Ilmavirta	Puhaltimen paine	Sähköteho	Poistoilmakone	Ilmavirta	Puhaltimen paine	Sähköteho	iv-järj.	iv-järj. SFP
merkintä	m ³ /s	Pa	kW	merkintä	m ³ /s	Pa	kW	merkintä	kW/(m ³ /s)
B214 TF	16,60	1233	30,72	B214 PF	16,30	1286	31,41	B214	3,74
1: TF 12.0 LR	12,00	944	17,34	1: PF 12.0 LR	12,00	723	13,48	1: 12.0 LR	2,57
2: TF 3.0 LR	12,00	773	15,32	2: PF 3.0 LR	12,00	719	14,28	2: 3.0 LR	2,47
3: TF 1.5 LR	12,00	767	16,24	3: PF 1.5 LR	12,00	715	15,04	3: 1.5 LR	2,61
4: TF 12.0 LG	12,00	779	14,46	4: PF 12.0 LG	12,00	667	12,29	4: 12.0 LG	2,23
5: TF 3.0 LG	12,00	718	14,24	5: PF 3.0 LG	12,00	631	12,40	5: 3.0 LG	2,22
6: TF 1.5 LG	12,00	704	14,72	6: PF 1.5 LG	12,00	629	13,04	6: 1.5 LG	2,31
7: TF 2.0 LR	12,00	780	15,72	7: PF 2.0 LR	12,00	721	14,40	7: 2.0 LR	2,51
8: TF 2.0 LG	12,00	725	14,52	8: PF 2.0 LG	12,00	635	12,54	8: 2.0 LG	2,26

Kuvassa 19 voidaan nähdä, millä ilmanvaihtojärjestelmällä päästään alle enimmäistehon 2,5 kW/(m³/s). Vanhalla ilmanvaihtojärjestelmällä B214 jäädaan kauas tämän päivän vaatimuksista. Kannattaa ottaa huomioon se, että ominaistehontarve arvioidaan mitoitusarvoista. Parhaaseen ominaissähkötehoon 2,22 kW/m³/s päästään ilmanvaihtojärjestelmällä, jossa käytetään neljä kolmen kuution konetta. Ilmanvaihtokoneet 1, 2, 3 ja 7 on varustettu pyörivillä lämmöntalteenottolaitteilla (LR) ja koneet 4, 5, 6 ja 8 vesi-glykolilämmöntalteenottolaitteilla (LG).

Ympäristöministeriölle on ehdotettu vuoden 2012 lähtien ominaissähkötehon enimmäisarvoksi 2,0 kW/(m³/s).



Kuva 19. Ominaissähkötehon vertailu eri ilmanvaihtojärjestelmillä.

5.3.3 Ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergian kulutuslaskelmat

Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus riippuu järjestelmän käyttötunneista ja kuormituksesta. Tarpeenmukaisessa ilmanvaihdossa säästetään suuria määriä lämmityskustannuksia. Lisäksi voidaan lämmön talteenotolla hyödyntää poistoilman energiaa lämmittämällä tuloilmaa. Tässä työssä keskitytään vaihtoehtoisten puhaltimien sähköenergian kulutukseen ja siihen, minkä suuruiset ne ovat toisiinsa verrattuna.

Puhaltimien sähköenergian kulutus riippuu monista eri tekijöistä. Puhaltimien sähköenergian kulutus vaihtelee riippuen ilmavirran kuormituksesta, jos puhaltimet toimivat täysillä tai osatehoilla. Sähköenergian kulutus riippuu myös paineenkorotuksesta johtuen kanaviston, koneen ja liitäntöjen häviöistä. Lisäksi puhaltimien sähköenergian kulutukseen vaikuttavat hyötysuhteet järjestelmän eri laitteissa kuten puhaltimissa ja moottoreissa. Puhaltimien sähköenergian kulutus riippuu myös laitteiden käyttöajasta ja ohjauksesta.

5.3.4 Puhaltimien osakuormien laskeminen

Tunnetuista suoritusarvoista voidaan muuntoyhtälöiden eli ns. puhallinlakien avulla laskea uudet suoritusarvot. Pyörimisnopeuden muuttuessa voidaan laskea kaavojen 15–17 mukaan uudet ilmamäärät, painekorotukset ja tehot [15].

$$\text{Ilmamäärä } q_{v2} = q_{v1} \cdot \frac{n_2}{n_1} \quad (15)$$

$$\text{Painekorotus } p_2 = p_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (16)$$

$$\text{Teho } P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (17)$$

5.3.5 Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutuslaskelmat

Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän (B214) kuormitukset on arvioitu tässä työssä seuraavasti:

Arkisin ilmanvaihtoa olisi tarkoitus käyttää klo. 6.00–18.00 suuremmalla teholla ja muulloin pienemmällä teholla. Koska ilmanvaihtojärjestelmä kattaa alueen, jossa tilat edustavat kokonaan toisistaan poikkeavia tiloja ja joitten kuormitukset ja käyttötunnit poikkeavat toisistaan suuresti, on energiakulutus arvioitu 85 %:lla jatkuvalla kuormituksella. Laboratoriotilojen säädettävyys on olematon.

Puhaltimien osakuormin tehot on laskettu kaavojen 15–17 avulla. Taulukossa 4 esitetään nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus viikossa ja vuodessa.

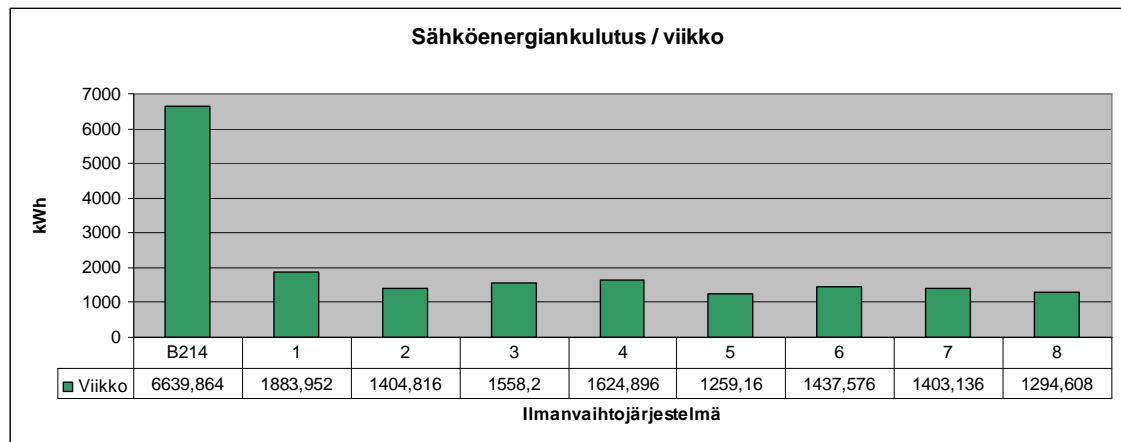
Taulukko 4. Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus viikossa ja vuodessa.

Aikajakso	Kuormitus	Sähköteho	Sähköenergiankulutus / viikko	Sähköenergiankulutus / vuosi
h	%	kW	kWh	kWh
168	85	39,53	6641,04	-
8760	85	39,53	-	346282,80

5.3.6 Vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergiankulutus

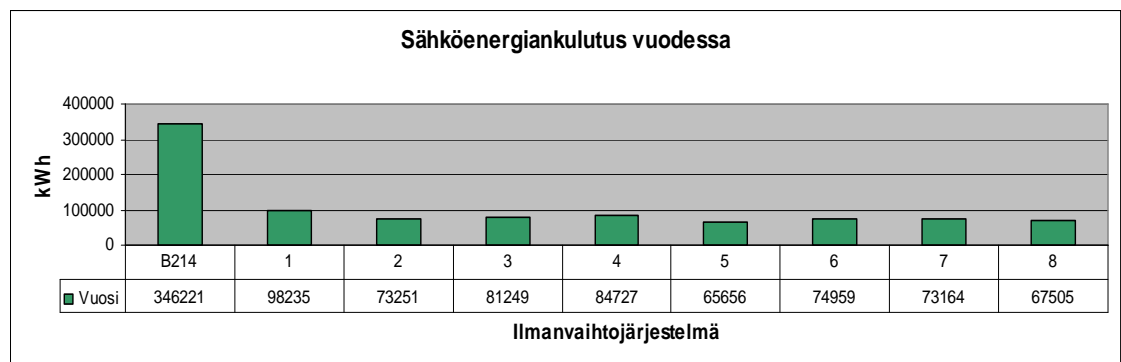
Optimoimalla ilmamäärät, hajauttamalla ilmanvaihtoa ja lisäämällä antureita voidaan saavuttaa tarpeenmukainen ilmanvaihto ja pienentää energian kulutusta merkittävästi. Ilmanvaihdon kuormitukset on arvioitu siten, että nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä B214, joka koostuu yhdestä tulo- että yhdestä poistokoneesta, on jatkuvassa käytössä 85 %:n kierrosluvulla maksimista. Nykyisessä ilmanvaihtojärjestelmässä on ylimitoitettu ilmanvaihtokoneet, joten vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät on paremmin optimoitu todellisten ilmamäärien mukaan. Vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät 1 ja 4 koostuvat myös yhdestä tulo- että poistokoneesta, joten kuormitukset on arvioitu siten, että ne toimivat arkisin klo. 6.00–18.00 noin 85 %:n teholla ja muulloin noin 50 %:n teholla. Muut vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät on hajautettu vertailun vuoksi erisuuruisiin ilmanvaihtokoneisiin. Koska ne on hajautettu, voidaan antureita tai tunnistimia lisäämällä helpommin hallita ilmanvaihtoa todellisten tarpeitten mukaan. Kuormitukset ja osatehot on arvioitu siten, että arkisin klo. 6.00–18.00 ne toimivat 85 %:n teholla ja

muulloin noin 20 %:n teholla. Kuvasta 20 voidaan verrata nykyisen (B214) ja vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergiankulutukset viikossa.



Kuva 20. Ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergiankulutukset viikossa.

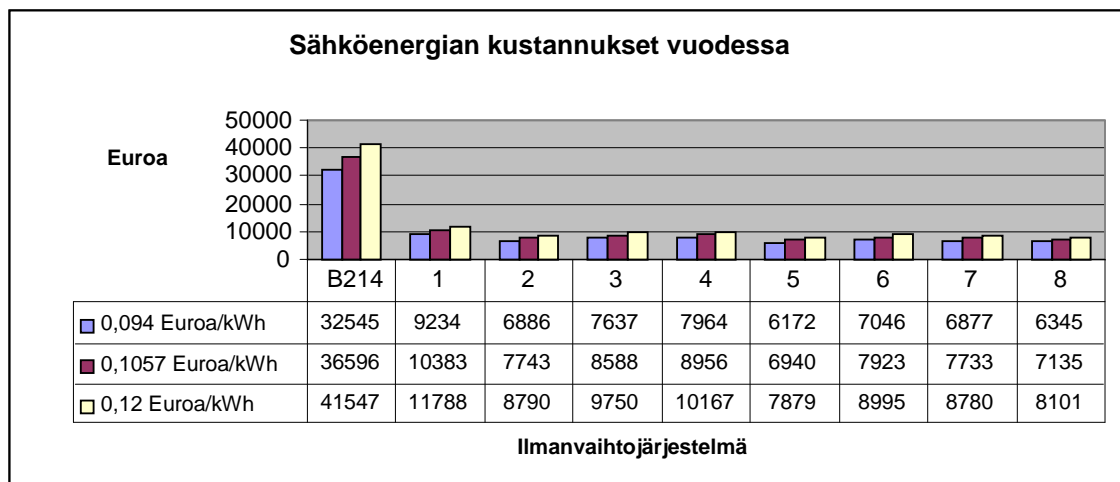
Kuvasta 21 nähdään vastaavasti eri ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergiankulutukset vuodessa.



Kuva 21. Ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergiankulutukset vuodessa.

5.3.7 Ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergian kustannuslaskelmat

Kemian laitoksen verollinen sähköenergian hinta vuonna 2009 oli 0,094 €/kWh sisältäen siirtohinnot ja vastaavasti vuonna 2010 hinta oli 0,1057 €/kWh. Koska energian hinta on jatkuvasti nousussa, lasketaan tässä vertailun vuoksi myös sähköenergian kustannukset hinnalla 0,12 €/kWh. Kuvassa 22 esitetään nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän B214 sekä vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergian kustannukset vuodessa eri kWh hinnoille.

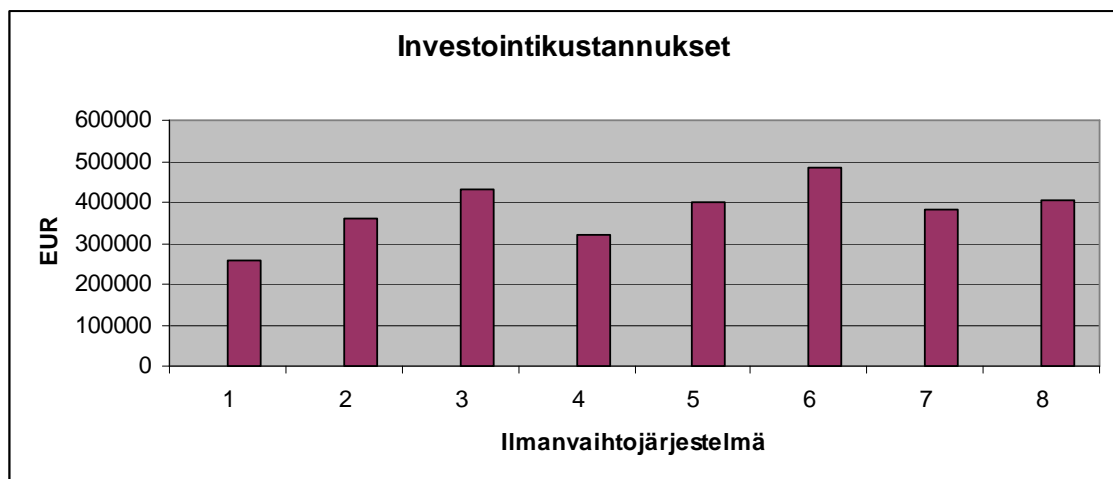


Kuva 22. Ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergian kustannukset vuodessa.

5.3.8 Ilmanvaihtojärjestelmien hinnat

Eri ilmanvaihtojärjestelmien hinnat ovat eriteltyinä liitteessä 9 ja yhteenvedona kuvassa 23. Hinnoissa on huomioitu seuraavat asiat:

- ilmanvaihtokoneiden kokonaishinnat asennustöineen
- ilmanvaihtokanavien hinnat asennustöineen (pystykuilut)
- säätölaitteiden hinnat asennettuina ja ohjelmoituina
- vanhan ilmanvaihtojärjestelmän purkutyö
- eri tiloihin asetettavat anturit.



Kuva 23. Ilmanvaihtojärjestelmien laitteiden investointikustannukset.

5.3.9 Kannattavuuslaskelmat

Rakennuksen vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien kannattavuuslaskelmat tehdään tässä työssä Metropolia Ammattikorkeakoulun "Kiinteistöjen energiatehokkuus ja elinkaarikustannus"-kurssin oppimateriaalin mukaisesti. Elinkaarikustannusten tarkastelujaksoksi valitaan 20 vuotta.

Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä kaikki tuotot ja kustannukset diskontataan hankintahetkeen eli investointiajan alkuun valitulla laskentakorkokannalla. Investointi on käytetyn korkokannan mukaan kannattava, jos tuottojen ja jäännösarvon nykyarvo on suurempi kuin kustannusten ja uusinvestointien nykyarvo. Silloin sijoitetulle pääomalle saadaan vähintään käytetyn laskentakorkokannan mukainen korkotuotto. Kannattavuusvertailulaskuissa käytetty nykyarvoyhtälö yleisessä muodossa on esitetty kaavassa 18. [16.]

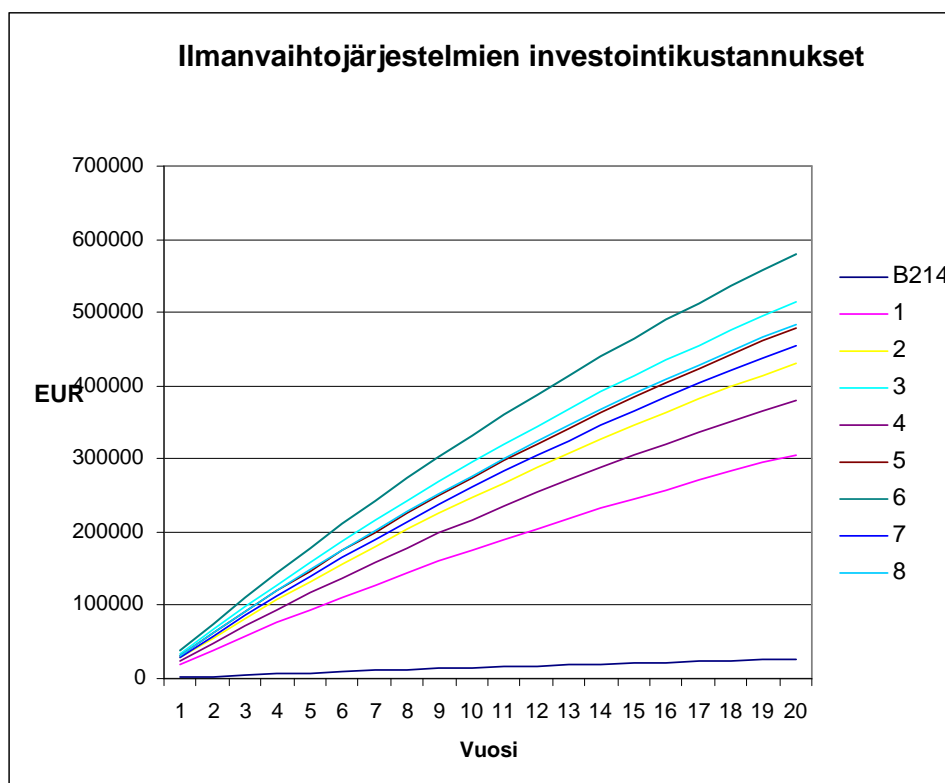
$$N = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} T_t + \frac{1}{(1+i)^n} J - \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} M_t - \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} U_t - H \quad (18)$$

Kaikki kustannustekijät diskontataan nykyhetkeen (= hankintamenon syntyhetkeen). Jos N on positiivinen, investointi on korolla $100i$ ja laskentajakson pituudella n kannattava.

Elinkaarikustannusten korkokantana käytetään yleensä reaalikorkokantaa, joka on yleinen pitkäaikaisen lainan korkokanta vähennettynä inflaatiolla. Reaalikorkokanta vaihtelee yleensä 2–3 prosentin välillä. [16.]

5.3.10 Investointikustannukset

Eri ilmanvaihtojärjestelmien investointeihin tarvitaan rahoitusta. Rahoitus on hoidettu annuiteettilainalla siten, että investointikustannukset jakautuvat tasaisesti koko elinkaaren jaksolle [17]. Kuvassa 24 esitetään ilmanvaihtojärjestelmien elinkaaren investointikustannukset. Liitteessä 10 voidaan esimerkkinä tarkistaa ilmanvaihtojärjestelmä 1:n lainan koron ja lyhennyksien osuutta ja muitten vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien elinkaaren kokonaiskustannusten loppusumma. Liitteestä 11 voidaan tarkistaa vastaavasti esimerkkinä ilmanvaihtojärjestelmä 1:n kokonaiskustannukset koko elinkaaren ajasta ja se, mistä ne muodostuvat. Samasta liitteestä nähdään myös vaihtoehtoisten ilmanvaihtojärjestelmien elinkaaren kokonaiskustannukset loppusummana.



Kuva 24. Ilmanvaihtojärjestelmien investointikustannukset.

5.3.11 Elinkaarikustannukset

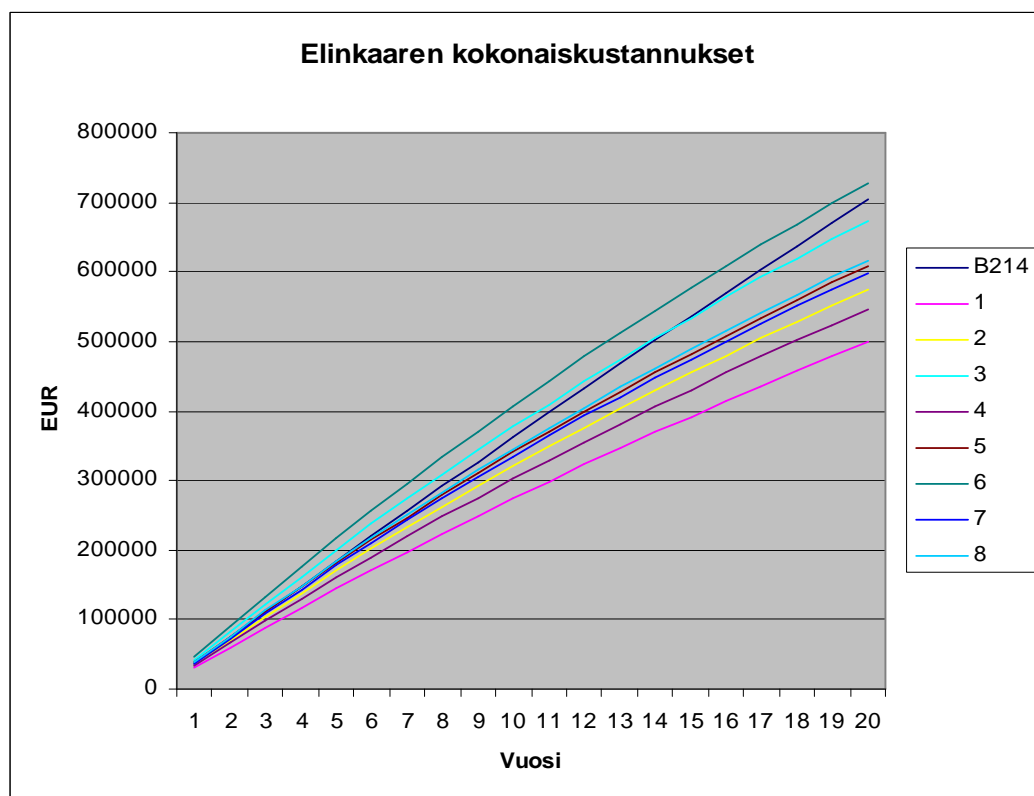
Elinkaarilaskennalla pyritään ennakoimaan tietyn valitun tai jo olemassa olevan järjestelmän elinkaaren aikana muodostuvia kustannuksia. Elinkaarilaskelmien avulla voidaan huomioida vaihtoehtoisten ratkaisujen elinkaarivaikutukset perinteisen investointipainotteisen päätöksenteon sijaan ja löytää elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto.

Seuraavaksi tarkastellaan eri ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannuksia ja takaisinmaksuaikoja. Järjestelmien laskettu laskentajakson pituus on 20 vuotta. Laskelmissa on arvioitu energian hinnan nousuksi 2,5 % ja inflaatioksi 2,5 %. Nimelliskorkona on käytetty 5,0 %. Lähtökohtana käytetään Kemian laitoksen vuoden 2010 sähköenergian verollista keskihintaa siirtokustannuksineen 0,1057 €/kWh.

Elinkaaren kokonaiskustannuksia laskettaessa on otettu huomioon mm. seuraavat kustannukset:

- laiteinvestoinnit
- asennuskustannukset
- ylläpito- ja huoltokustannukset
- rahoituskustannukset
- sähköenergian kustannukset.

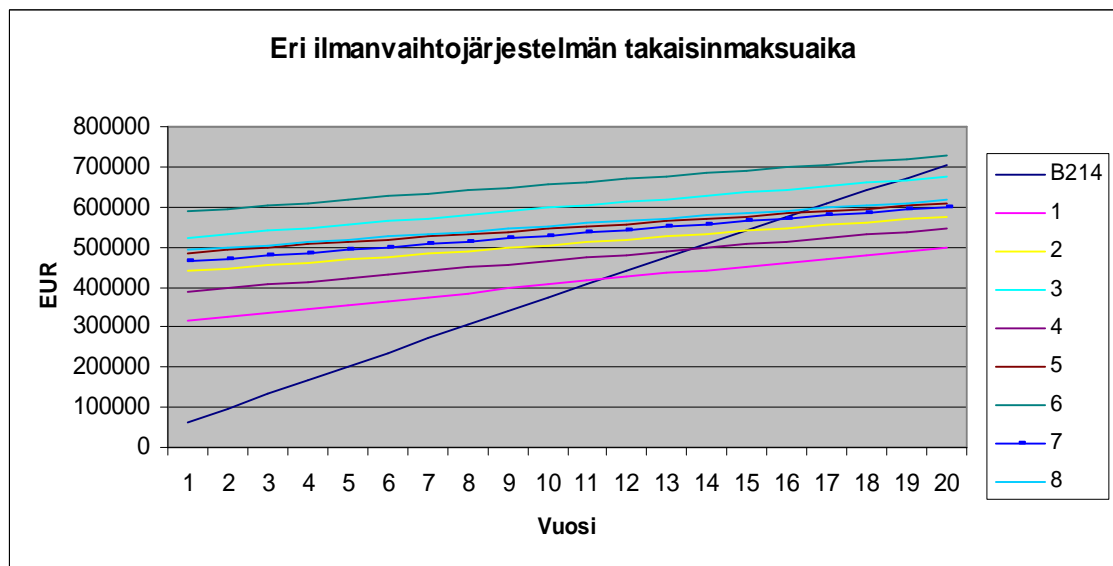
Kustannustekijät on diskontattu 20 vuoden laskentajaksolla hankintahetkeen eli investointiajan alkuun valitun laskentakorkokannan mukaan. Kuvassa 24 esitetään eri ilmanvaihtojärjestelmien elinkaaren kokonaiskustannukset.



Kuva 24. Ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannukset.

5.3.12 Takaisinmaksuajat

Eri ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat on laskettu siten, että investointikustannukset tulevat ensimmäiselle vuodelle rahoituskustannuksineen (kuva 25). Rahan arvo on diskontattu nykyarvoon koko laskentajaksolle. Sähköenergian hinta on arvioitu nousevan 2,5 % vuodessa.



Kuva 25. Ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat.

6 Rakennuksen lämmityskulujen säästö lämmöntalteenotolla

Seuraavaksi selvitetään lämmöntalteenoton hyödyt tutkittavan tilan lämmityskuluissa. Sekä vesi-glykolilämmöntalteenoton että pyörivän lämmöntalteenoton kokonaistaloudelliset hyödyt tarkastetaan kustannuksineen koko elinkaaren ajalta ja kartoitetaan takaisinmaksuajat eri ilmanvaihdon hajautusasteilla. Ilmanvaihtokoneiden mitoituksessa on huomioitu lämmöntalteenoton häviöt, minkä mukaisesti laitteet on valittu.

Energian kulutukset

Sivulla 36 on laskettu eri ilmanvaihtojärjestelmien sähköenergian kulutukset. Tutkittavan tilan lämmityskustannukset on arvioitu ilmanvaihdon lämmitettävän ilmamäärän mukaan ja lämmityskustannukset esitetään Helsingin Energian kaukolämpösopimuksen mukaisesti. Lämmöntalteenotossa on laskettu vuosihyötysuhdetta käyttämällä ilmanvaihtomitoitusohjelmasta saadut tuloilman lämpötilahyötysuhteet. Vuosihyötysuhteet saatiin käyttämällä Mika Vuolteen tekemää vuosihyötysuhdelaskentaohjelmaa, joka perustuu rakennusmääräysosio D2:n laskentaohjeisiin [12]. Kuvassa 26 esitetään vuosihyötysuhde ilmanvaihtojärjestelmä 1.

Ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen laskenta					
SIY Sisäilmatieto Oy					
Mika Vuolle 5.2.2004					
Sisäänsyöttö tiedot:					
Sisälämpötila	21,0	°C	LTO:n tuloilman lämpötilahyötysuhde	75,7	%
Sisäänpuhalluslämpötila	18,0	°C	Ilmanvaihtokoneen ilmavirtojen suhde (tulo/poisto)	1,0184	-
Jäätymissuoja	-5,0	°C	Poistoilmavirtojen suhde (kone / koko rakennus)	1	-
Lämmityskauden raja	15,0	°C	Poiston lämpötilahyötysuhde	77,1	%
Tulokset:					
LTC:n tuloilman vuosihyötysuhde	87,1	%	Perinteinen hyötysuhde		
LTC:n poistoilman vuosihyötysuhde	74,6	%			
Ilmanvaihdon vuosihyötysuhde	74,6	%	Koko rakennuksen ilmanvaihdon hyötysuhde		
D2:n kerroin	0.99	%			
Tulokset:					
LTC:n tuloilman vuosihyötysuhde	84,7	%	Perinteinen hyötysuhde		
LTC:n poistoilman vuosihyötysuhde	73,6	%			
Ilmanvaihdon vuosihyötysuhde	73,6	%	Koko rakennuksen ilmanvaihdon hyötysuhde		
D2:n kerroin	0.97	-			
Tulokset:					
LTC:n tuloilman vuosihyötysuhde	80,7	%	Perinteinen hyötysuhde		
LTC:n poistoilman vuosihyötysuhde	71,6	%			
Ilmanvaihdon vuosihyötysuhde	71,6	%	Koko rakennuksen ilmanvaihdon hyötysuhde		
D2:n kerroin	0.95	-			

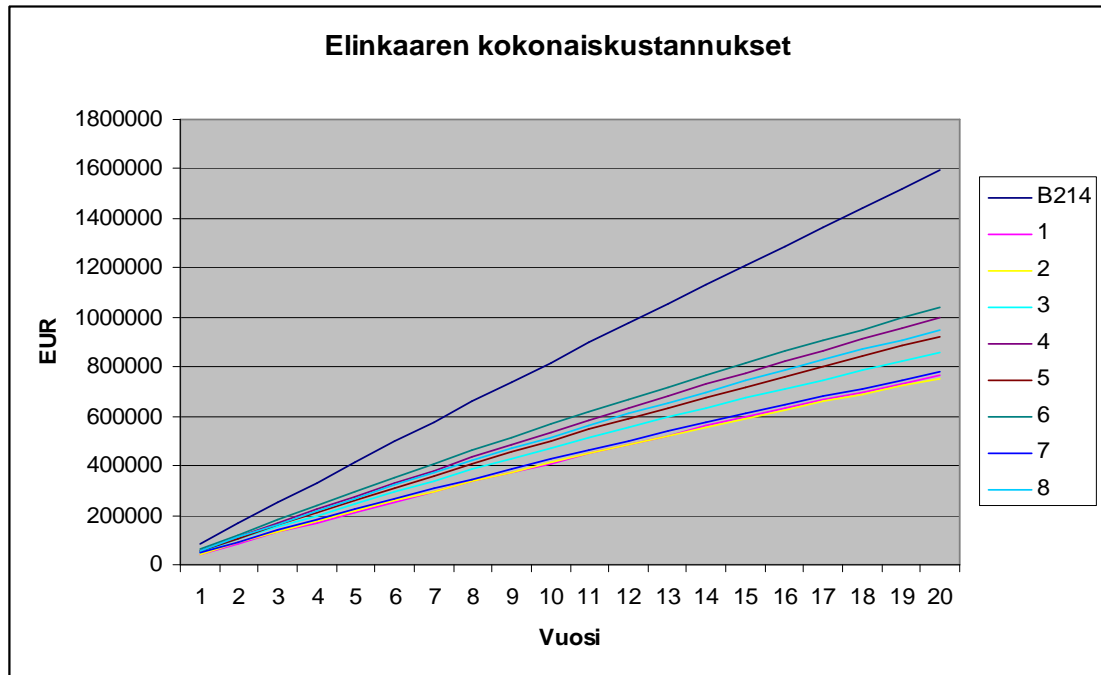
Kuva 26. Ilmanvaihtojärjestelmä 1, vuosihyötysuhde. [12].

Tutkittavan tilan lämmityksen energiamäärä on laskettu Recair Oy:n tekemällä laskentaohjelmalla 22.2.2011 AK v1.0. Lähtökohtana on pidetty, että ylläpidetään 21 °C:n lämpötilaa. Esimerkkinä taulukossa 5 on laskettu ilmanvaihtojärjestelmän 1 lämmitysenergian kulutustiedot. Hinta perustuu vuoden 2010 kaukolämpöhintoihin. Tilan kokonaisenergiakulutukset nähdään liitteestä 12.

Taulukko 5. Ilmanvaihtojärjestelmän 1, lämmityksen energiakulutyslaskelmat [18].

Recair Oy			22.2.2011 AK v.1.0
			PERUS LTO
Projekti:	Ilmanvaihtojärjestelmä:1	Vuosihyötysuhde	53 %
Tekijä:	Tom Eklund		
		Energiakulutus [MWh/v]	1043
Kaukolämmön hinta	46 €/MWh		
		1 vuoden lämmityskustannukset	47 970 €
		5 vuoden lämmityskustannukset	239 849 €
Käynnissä tuntia päivässä	24 h / 24 h	10 vuoden lämmityskustannukset	479 698 €
Käynnissä päiviä viikossa	7 pvä / 7 pvä	20 vuoden lämmityskustannukset	959 396 €
Yhteensä h	8736 h / vuosi		
		Alkuinvestointi €	0 €
Käyntikerroin	1 r	Lisäinvestointi edelliseen vaihtoehtoon	0 €
1=ympäri vuorokautta, 0,93=päiväkäyttö, 1,07=yökäyttö		Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika v.	0,00
rakennusmääräyskokoelman osan D5 kerroin			
Poistoilmavirta	14,11 m³/s	Paremmen LTO:n vuosittainen säästö	0 €
Sisäilman lämpötila	21 °C		
Paikkakunta	1 °C	LTO:n aikaansaama säästö 10 vuodessa	0 €
kts.aputaulukko alla		LTO:n aikaansaama säästö 20 vuodessa	0 €
		Laskenta on tehty rakennusmääräyskokoelman osan D5 mukaan.	
Paikkakunnan läm.kauden keskilämpötila (D5)			
HELSINKI	I 1 °C		
JOKIOINEN	II 0 °C		
JYVÄSKYLÄ	III -1 °C		
SODANKYLÄ	IV -5 °C		
Vihreät arvot ovat keskimääräisiä ulkolämpötiloja lämmityskauden aikana			
Lämmityskausi	6552 h		
Lämmityskausi syys-touko, arvoa voi tarvittaessa muuttaa (huom! Myös paikkakunnan lämpötila)			

Kuvassa 27 esitetään eri ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannukset koko elinkaarelle. Rahan arvo on diskontattu nykyarvoon. Laskelmissa huomioidaan lämmöntalteenotolla saavutetut hyödyt tutkittavan tilan lämmityskuluissa. Liitteessä 13 esitetään mistä ilmanvaihtojärjestelmä 1:n kokonaiskustannukset muodostuvat.

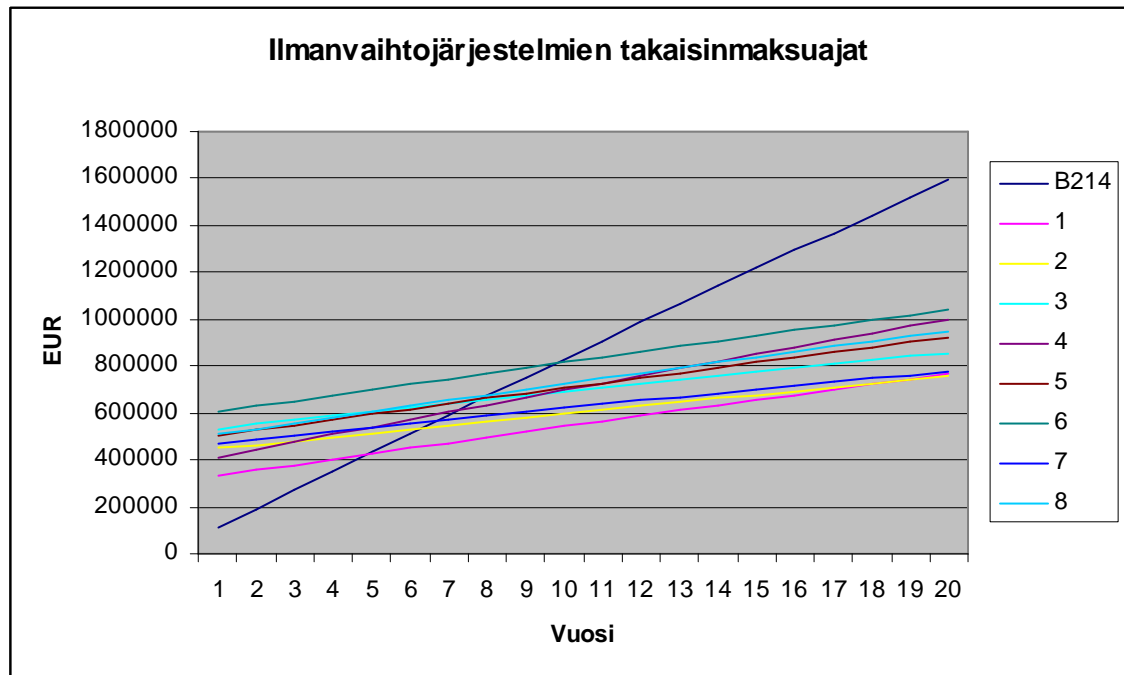


Vuosi	Ilmanvaihtojärjestelmä								
	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	83819	44046	45106	51587	57228	54431	61955	46628	55955
2	167186	87392	89311	102107	113578	107840	122692	92306	110871
3	250109	130057	132640	151590	169070	160252	182241	137063	164777
4	332591	172057	175114	200064	223726	211693	240636	180922	217697
5	414634	213409	216758	247557	277567	262191	297908	223908	269658
6	496241	254130	257593	294095	330611	311770	354082	266042	320686
7	577203	294235	297640	339703	382880	360454	409194	307351	370803
8	658164	333739	336922	384407	434392	408264	463269	347854	420035
9	738486	372657	375458	428231	485164	455226	516335	387574	468403
10	818385	411003	413268	471198	535216	501361	568420	426530	515931
11	897864	448792	450371	513330	584563	546690	619546	464744	562640
12	976925	486035	486787	554652	633224	591234	669740	502236	608553
13	1055572	522747	522533	595184	681214	635014	719029	539025	653688
14	1133809	558942	557626	634947	728549	678050	767534	575129	698066
15	1211639	594630	592084	673962	775245	720359	814978	610565	741705
16	1289062	629824	625924	712249	821316	761961	861684	645351	784626
17	1366083	664535	659161	749825	866779	802874	907574	679506	826845
18	1442704	698776	691811	786712	911646	843115	952669	713046	868382
19	1518927	732556	723891	822926	955931	882702	996989	745985	909253
20	1594758	765885	755414	858483	999645	921648	1040554	778340	949474

Kuva 27. Ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannukset koko elinkaarelle.

Takaisinmaksuajat

Kuvassa 28 esitetään eri ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat, kun on huomioitu koko elinkaaren kokonaiskustannukset ja kun rahan arvo diskontattu nykyarvoon. Lisäksi ilmanvaihtojärjestelmissä on huomioitu lämmöntalteenoton hyödyt tutkittavan tilan lämmityksessä.



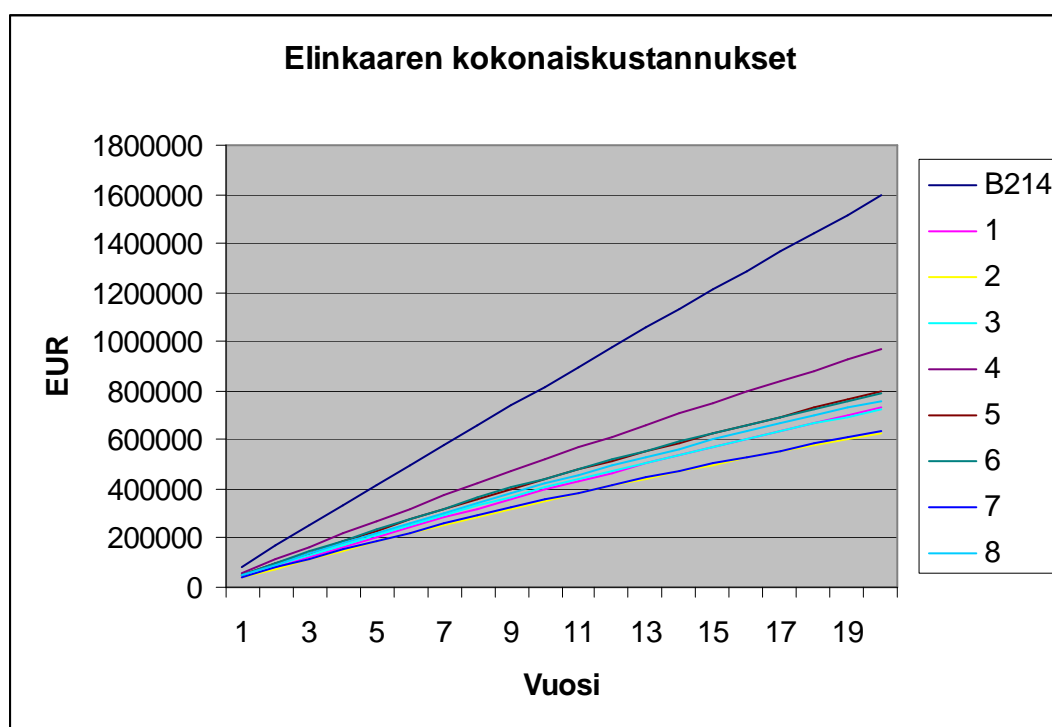
Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	108369	330318	447909	532893	412091	502338	603966	472630	508738
2	190072	354261	464812	550790	444388	525387	627965	489434	532965
3	271380	378087	481633	568600	476528	548324	651847	506157	557074
4	352293	401797	498373	586324	508512	571149	675613	522799	581066
5	432813	425392	515031	603962	540341	593864	699264	539360	604942
6	512942	448873	531609	621514	572015	616469	722797	555840	628702
7	592683	472240	548105	638980	603536	638964	746219	572241	652346
8	672036	495494	564522	656364	634904	661349	769527	588562	675875
9	751005	518635	580859	673662	666119	683626	792722	604804	699290
10	829590	541664	597116	690876	697182	705795	815805	620967	722591
11	907794	564581	613294	708006	728096	727856	838775	637051	745779
12	985617	587386	629395	725053	758859	749810	861633	653057	768855
13	1063062	610081	645417	742017	789473	771658	884381	668986	791819
14	1140132	632666	661361	758899	819938	793400	907119	684838	814672
15	1216828	655141	677228	775699	850255	815036	929547	700612	837413
16	1293151	677507	693017	792418	880425	836567	951965	716309	860044
17	1369104	699764	708730	809055	910449	857993	974274	731930	882565
18	1444688	721913	724367	825612	940327	879315	996475	747476	904977
19	1519905	743954	739928	842089	970060	900534	1018568	762946	927280
20	1594758	765885	755414	858483	999645	921648	1040554	778340	949474

Kuvassa 28 eri ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat.

7 Rakennuksen lämmityskulujen säästö hyödyntämällä laitekuomia

7.1 Elinkaaren kokonaiskustannukset

Seuraavaksi selvitetään eri ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannukset koko elinkaarelle, kun laskelmissa huomioidaan lämmöntalteenoton hyötyjen lisäksi laitelämpökuormien hyödyntämistä tutkittavan tilan lämmityskuluissa. Kuvassa 29 on esitetty 5 kW:n nettolaitelämpökuorman hyödyntämistä per tuloilmakone, siten 12 m³/s:n koneessa nettoteho on 5 kW, 4 m³/s:n koneessa nettoteho on 20 kW ja 2,0 m³/s:n koneessa 30 kW ja 1,5 m³/s:n koneessa 40 kW. Rahan arvo on diskontattu nykyarvoon. Laskelmissa huomioidaan tuloilmakonekohtaiset lämmityspattereiden investoinneiksi 5 000 €. Liitteessä 14 esitetään tarkemmin mistä ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannukset muodostuvat, kun hyödynnetään rakennuksesta vapautuvia laitelämpökuormia.

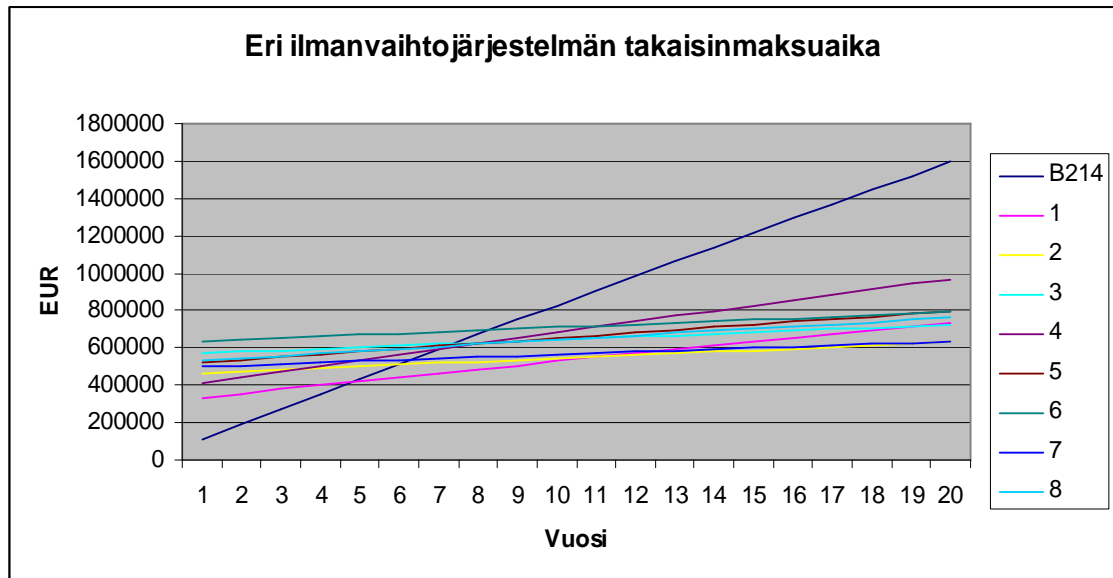


Kuva 29. Elinkaaren kokonaiskustannukset, kun hyödynnetään 5 kW:n nettolaitelämpökuormaa.

Vastaavasti tarkastettiin 10 kW:n, 15 kW:n, 30 kW:n, 40 kW:n ja 60 kW:n nettolaitelämpökuormien hyödyntämistä. Hyödynnettävät laitelämpökuormat on laskelmien helpottamiseksi arvioitu vuoden keskimääräisiksi hyödyiksi. Kesällä ei juuri lämmitystarvetta ole, mutta talvella sitäkin enemmän.

7.2 Takaisinmaksuajat

Kuvassa 30 esitetään eri ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat, kun on huomioitu koko elinkaaren kokonaiskustannukset ja kun rahan arvo diskontattu nykyarvoon. Lisäksi laskelmissa on huomioitu 5 kW:n nettolaitelämpökuorman hyödyntämistä per tuloilmakone.

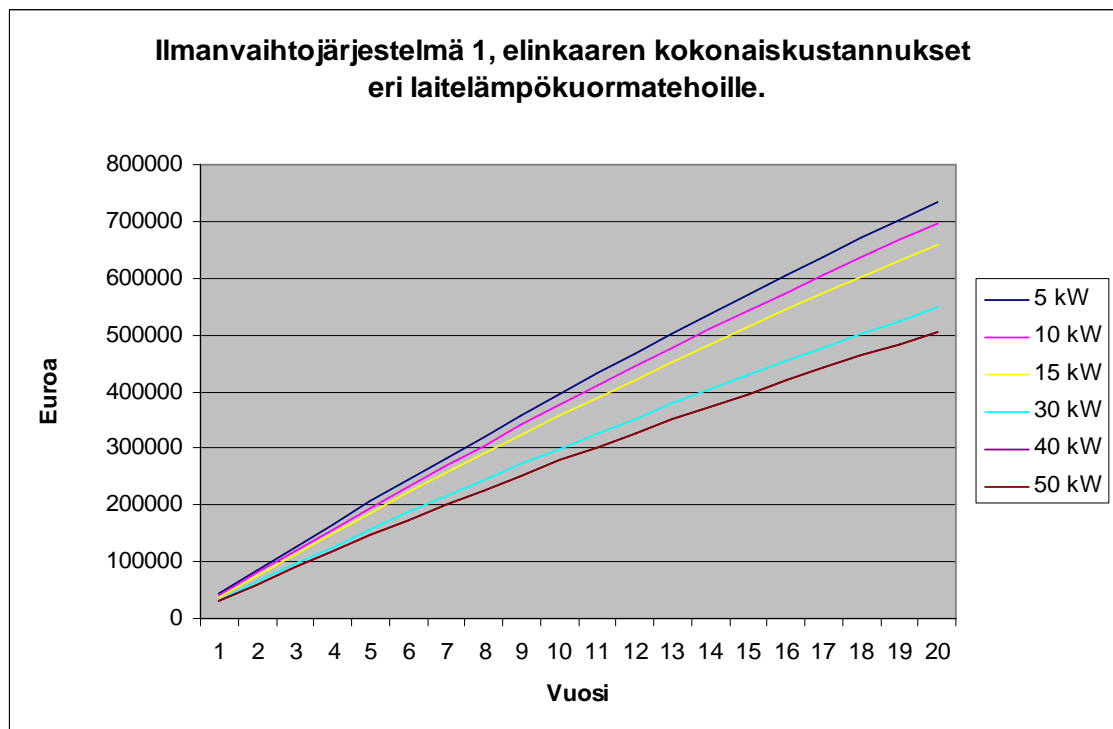


Kuvassa 30 eri ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat.

Vastaavat takaisinmaksuajat eri laitelämpökuormille on koottu liitteeseen 15.

7.3 Optimoidut laitelämpökuormat

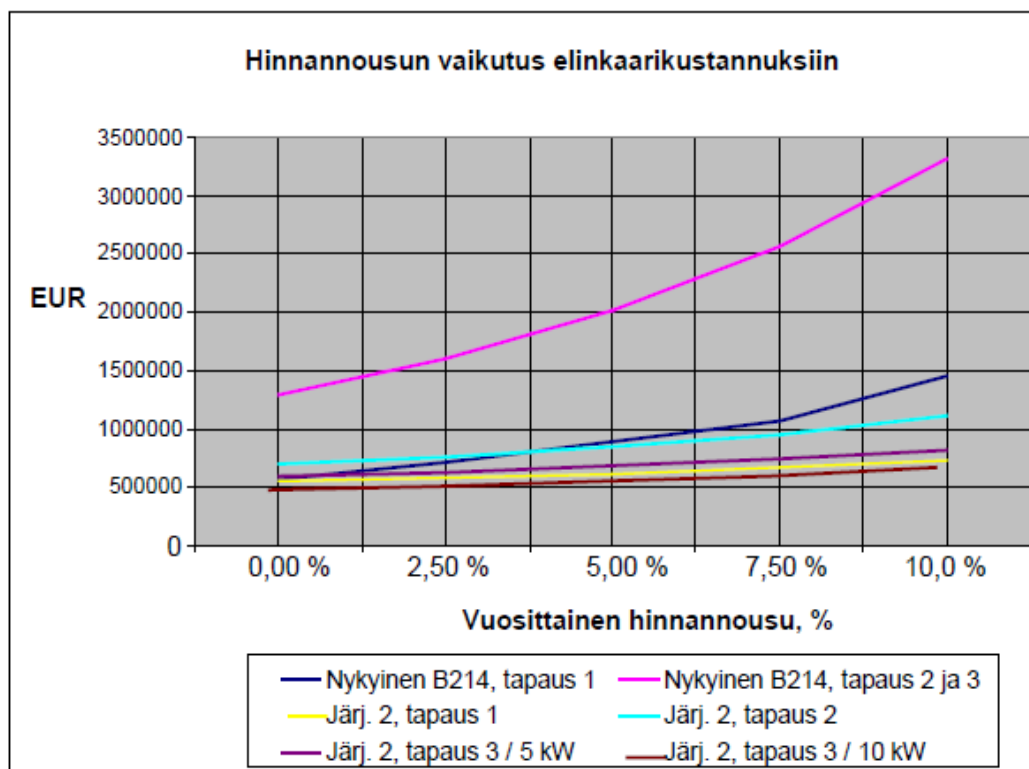
Tässä halutaan selvittää, mikä on se optimoitu laitelämpökuorman (lauhdetehto) hyödyntäminen, josta on hyötyä tutkittavan tilan lämmittämisessä. Esimerkkinä tutkitaan ilmanvaihtojärjestelmä 1. Kuvasta 31 nähdään elinkaarikustannukset eri laitekuormatehoille. Tässä tapauksessa voidaan hyödyntää vielä 40 kW:n tehoa, mutta 50 kW:n teholla ei ole enää hyötyä tutkittavan tilan lämmittämisessä. Voidaan sanoa, että 40 kW:n teho on optimoitu.



Kuvassa 31. Elinkaaren kokonaiskustannukset eri laitelämpökuormatehoille.

8 Herkkyystarkastelu

Ilmastointijärjestelmän elinkaarikustannuksissa energian hinnanmuutokset vaikuttavat voimakkaasti lopputulokseen. Koska energian hinnan uskotaan tulevaisuudessa nousevan nopeammin muihin kustannuksiin nähden, hinnannousun herkkyystarkastelu on perusteltua. Kuvassa 32 on esitetty nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän B214 ja ilmanvaihtojärjestelmä 2:n elinkaarikustannukset sähköenergian hinnan muuttuessa. Muut laskelmissa käytetyt korkotekijät pysyvät samoina.



Kuva 32. Hinnannousun vaikutus elinkaarikustannuksiin.

Kuvasta 32 nähdään, että energian hinnan nousulla on voimakas vaikutus elinkaarikustannuksiin. Kun huomioidaan ainoastaan investointi ja käyttökustannukset elinkaarikustannuksissa (tapaus 1), nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän B214 elinkaarikustannukset nousevat voimakkaasti verrattuna ilmanvaihtojärjestelmään 2, kun vuosittainen energian hinnannousu on noin 3,75 %. Nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä on ainoastaan kilpailukykyinen, jos energian vuosittainen energiannousu on 0 %. Jos lisäksi tapauksissa 2 ja 3 huomioidaan myös tutkittavan tilan elinkaaren lämmityskulut, nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän elinkaarikustannukset nousevat entisestään. Ilmanvaihtojärjestelmä 2:n elinkaarikustannukset eivät muutu merkittävästi tapauksissa 2 ja 3, koska järjestelmä on energiatehokas.

9 Tulokset

9.1 Ominais sähkötehot

Taulukossa 6 esitetään eri ilmanvaihtojärjestelmien ominais sähkötehot. Nykyisen ilmanvaihtojärjestelmä B214 on ylimitoitettu, ja sillä on selvästi suurin ominais sähköteho 3,74 m³/s. Parhaat ominais sähkötehot saavutetaan ilmanvaihtojärjestelmillä 4, 5 ja 8.

Taulukko 6. Ilmanvaihtojärjestelmien ominais sähkötehot.

iv-järj.	kW/m ³ /s
B214	3,74
1: 12.0 LR	2,57
2: 3.0 LR	2,47
3: 1.5 LR	2,61
4: 12.0 LG	2,23
5: 3.0 LG	2,22
6: 1.5 LG	2,31
7: 2.0 LR	2,51
8: 2.0 LG	2,26

Tulos: Ilmanvaihtojärjestelmällä 5 on paras ominais sähköteho.

9.2 Laitteiden investointikustannukset

Oheisessa taulukossa 7 nähdään yhteenveto eri ilmanvaihtojärjestelmien laitteiden kokonaisinvestointikustannuksista koko 20 vuoden elinkaaren ajalta. Laskelmissa on huomioitu rahoituskustannukset ja rahan arvo on diskontattu nykyhetkeen.

Taulukko 7. Elinkaaren laitteiden investointikustannukset, €.

Ilmanvaihtojärjestelmä								
B214	1	2	3	4	5	6	7	8
26264	306258	430924	514908	379637	479177	579851	455743	484394

Tulos: ilmanvaihtojärjestelmä 1 on edullisin.

9.3 Elinkaaren kokonaiskustannukset

Taulukossa 8 nähdään yhteenveto koko elinkaaren kokonaiskustannuksista, kun huomioidaan ilmanvaihtojärjestelmien koko elinkaaren kokonaiskustannukset käyttökuluneen nykyarvossa.

Taulukko 8. Elinkaaren kokonaiskustannukset, €.

Ilmanvaihtojärjestelmä

B214	1	2	3	4	5	6	7	8
705031	498837	574538	674194	545749	607897	726803	599171	616731

Tulos: Ilmanvaihtojärjestelmä 1 on edullisin.

Kun ilmanvaihtojärjestelmiin lisätään lämmöntalteenotto ja huomioidaan tarkistettavan tilan lämmityskulut, voidaan nähdä yhteenveto ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannuksista taulukosta 9.

Taulukko 9. Elinkaaren kokonaiskustannukset, EUR.

Ilmanvaihtojärjestelmä + LTO

B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1594758	765885	755414	858483	999645	921648	1040554	778340	949474

Tulos: Ilmanvaihtojärjestelmä 2 on edullisin.

Taulukossa 10 nähdään yhteenveto ilmanvaihtojärjestelmien kokonaiskustannuksista silloin, kun käytetään hyväksi eri nettolaitelämpökuormien (lauhdelämpö) tehoja tutkitavan tilan lämmittämiseen.

Taulukko 10. Elinkaaren kokonaiskustannukset, €.

Ilmanvaihtojärjestelmä + LTO + patteri

Teho	1	2	3	4	5	6	7	8
5 kW	734480	629815	721946	968240	796049	789357	634986	761068
10 kW	697107	598414	721946	930867	646574	774556	634986	652546
15 kW	659752	598414	721946	893512	631773	774556	634986	652546
30 kW	547632	598414	721946	781392	631773	774556	634986	652546
40 kW	504806	598414	721946	706664	631773	774556	634986	652546
50 kW	504806	598414	721946	556930	631773	774556	634986	652546

Tulos: 5 kW:n ja 10 kW:n teholla saavutetaan paras tulos ilmanvaihtojärjestelmällä 2. Yli 15 kW:n tehoilla saavutetaan paras tulos ilmanvaihtojärjestelmällä 1.

9.4 Takaisinmaksuajat

Taulukossa 11 nähdään yhteenveto ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajoista.

Taulukko 11. Ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat.

Ilmanvaihtojärjestelmä:	1	2	3	4	5	6	7	8	
Takaisinmaksuajat:	11,5	15	18,75	14	16,5	20,5	15	16,75	Vuosi

Tulos: Ilmanvaihtojärjestelmä 1 maksaa itsensä takaisin nopeimmin.

Kun huomioidaan lämmöntalteenotto ja tilan lämmityskustannukset, saadaan takaisinmaksuajoiksi taulukossa 12 esitetyt luvut.

Taulukko 12. Ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat.

Ilmanvaihtojärjestelmä:	1	2	3	4	5	6	7	8	
Takaisinmaksuajat:	5	6,2	7,7	7,5	7,85	9,75	6,7	8,3	Vuosi

Tulos: Ilmanvaihtojärjestelmä 1:n takaisinmaksuaika on 5 vuotta.

Taulukossa 13 nähdään yhteenveto ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajoista, kun hyödynnetään laitelämpökuormia (lauhdelämpö) tilojen lämmittämisessä.

Taulukko 13. Ilmanvaihtojärjestelmien takaisinmaksuajat, vuosi.

Ilmanvaihtojärjestelmä + LTO + patteri								
Teho	1	2	3	4	5	6	7	8
5kW	4,85	5,95	7,5	7,4	7,4	8,4	6,3	7,3
10kW	4,75	5,8	7,4	7,9	6,5	8,3	6,45	6,8
15kW	4,6	5,8	7,4	6,7	6,45	8,3	6,45	6,7
30kW	4,1	5,8	7,4	5,95	6,4	8,3	6,45	6,7
40kW	4,0	5,8	7,4	5,65	6,4	8,3	6,45	6,7
50kW	4,0	5,8	7,4	5	6,4	8,3	6,45	6,7

Tulos: Ilmanvaihtojärjestelmä 1:n takaisinmaksuaika on paras: 4–4,85 vuotta.

10 Johtopäätökset

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää esimerkkirakennuksen osa-alueen ilmanvaihdon energiatehokkuudeltaan optimaalista hajauttamisastetta sekä lämmöntalteenoton ja laitelämpökuormien hyödyntämistä rakennuksen lämmittämiseen ja sen vaikuttaminen rakennuksen energiatehokkuuteen ja investoinnin kokonaiskustannuksiin.

Ominaissähköteho

Usein ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus ja valinta tapahtuu ominaistehon mukaan. Esimerkkikohteessa suurin osa vaihtoehtoisista ilmanvaihtojärjestelmistä alittaa nykyisin voimassaolevan rakennusmääräyskoelman D2:n asettaman enimmäisarvon $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Tutkittava tila koostuu lähinnä laboratoriotiloista, joten tila edustaa tavanomaisista poikkeavaa tilaa, missä tapauksessa jopa suuremmat ominaissähkötehoarvot olisivat hyväksyttävissä.

Investointikustannukset

Järkevintä on verrata koko 20 vuoden elinkaaren investointikustannuksia rahoituskustannuksineen. Tämän mukaan edullisin vaihtoehto olisi ilmanvaihtojärjestelmä 1, jossa on yksi $12 \text{ m}^3/\text{s}$:n tulokone ja yksi $12 \text{ m}^3/\text{s}$:n poistokone. Investointikustannukset olisivat siten 306 258 €. Seuraavina hyvinä vaihtoehtoina tulevat järjestyksessä ilmanvaihtojärjestelmät 4, 2 ja 7. Laskelmien mukaan kallein on ilmanvaihtojärjestelmä 6, jonka investointikustannukset olisivat 579 851 €. Kalleimman ja halvimman ilmanvaihtojärjestelmän investoinnin ero on 273 593 €, mikä merkitsee noin 89 %:n eroa halvimpaan verrattuna.

Kun huomioidaan investointikustannusten lisäksi sähkökustannukset koko 20 vuoden elinkaaren ajalta, muuttuu tilanne siten, että ilmanvaihtojärjestelmä 1 pysyy edelleen edullisimpana kokonaiskustannuksiltaan 498 837 €. Nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmä B214:seen verrattuna Ilmanvaihtojärjestelmä 1 on noin 29,2 % edullisempi.

Taulukosta 9 nähdään, että nykyiseen ilmanvaihtojärjestelmään verrattuna vaihtoehtoiset järjestelmät ovat noin 4,4–29,2 % edullisempia, paitsi järjestelmä 6, joka on noin 3,1 % kalliimpi.

Kun lisätään laskelmiin lämmöntalteenotto ja tutkittavan tilan lämmityskustannukset, saadaan edullisimmaksi ilmanvaihtojärjestelmä 2 kokonaiskustannuksiltaan 755 414 € ja kalleimmaksi nykyinen ilmanvaihtojärjestelmä B214 kokonaiskustannuksiltaan 1 594 758 €, jolloin se on 52,6 % halvempi koko elinkaaren ajalta. Taulukosta 9 nähdään, että vaihtoehtoiset ilmanvaihtojärjestelmät ovat noin 34,8–52,6 % edullisempia elinkaaren ajalta verrattuna nykyiseen järjestelmään.

Kun lisätään tuloilmakoneisiin lämmityspatterit, joiden kautta hyödynnetään rakennuksen jäähdytysjärjestelmän lauhdelämpöä tutkittavan tilan lämmittämiseen, saadaan selville nettotehot per ilmanvaihtojärjestelmä. Nettotehotiedoista on hyötyä tilojen lämmittämisessä. Taulukossa 13 on merkitty, millä laitelämpökuormalla on vielä hyötyä tilan lämmittämisessä. Esimerkiksi lisättäessä tuloilmakoneisiin nettolämmitystehoa 5 kW voidaan todeta, että elinkaaren kokonaiskustannukset ovat edullisimmat ilmanvaihtojärjestelmällä 2. Ilmanvaihtojärjestelmässä 2 voidaan hyödyntää vielä 10 kW:n nettolämmitystehoa, kun taas 15 kW:n teholla ei saada enää hyötyä. Ilmanvaihtojärjestelmä 1 on 30 kW:n nettolämmitysteholla edullisin kokonaiskustannuksiltaan. Ilmanvaihtojärjestelmässä 4 voidaan hyödyntää jopa 50 kW:n nettolämmitystehoa. Jos hyödynnetään 5 kW:n nettoteho, silloin ilmanvaihtojärjestelmä 1 on elinkaarikustannuksiltaan noin 60,5 % edullisempi verrattuna nykyiseen. Muut vaihtoehtoiset järjestelmät ovat noin 39,3–60,2 % nykyistä järjestelmää edullisempia. Kun tarkistetaan 10 kW:n nettotehon hyödyntämistä, pysyy ilmanvaihtojärjestelmä 2 vieläkin edullisimpana järjestelmän ja on noin 62,5 % edullisempi nykyiseen järjestelmään verrattuna. Kun tarkistetaan 15 kW:n nettotehon hyödyntämistä, voidaan todeta, ettei siitä ole enää hyötyä ilmanvaihtojärjestelmä 2:ssa tilojen lämmittämisessä, kun taas osassa muissa järjestelmissä voidaan hyödyntää jopa suurempia tehoja, kuten ilmanvaihtojärjestelmissä 1 ja 4.

Takaisinmaksuajat

Huomioitaessa ainoastaan ilmanvaihtojärjestelmät sähkökuluineen takaisinmaksuajat vaihtelevat 11,5 vuodesta yli 20 vuoteen. Kun huomioidaan lämmöntalteenotto ja tutkittavan tilan lämmityskustannukset, takaisinmaksuajat muuttuvat siten, että ne ovat enää 5–10 vuotta. Laitelämpökuormien hyödynnettäessä takaisinmaksuajat lyhenevät merkittävästi ja ovat enää 4–8,5 vuotta.

Toimivuus

Koska tässä työssä lähtökohtana on parantaa tilakohtaista ilmanvaihtoa, ei tule kyseen valita nykyisistä vastaavaa ilmanvaihtojärjestelmää, joka koostuu yhdestä tulo- ja yhdestä poistokoneesta. Sen sijaan ilmanvaihto halutaan hajauttaa useaan erilliseen koneeseen, jotka palvelevat eri tiloja. Koska kyse on kemian laboratoriotiloista, joissa käsitellään syövyttäviä aineita, ei voida käyttää pyörivää lämmöntalteenottoa. Pyörivä lämmöntalteenotto haluttiin kuitenkin sisällyttää tähän työhön, koska haluttiin nähdä sen vaikutuksia tuloksiin ja käyttää niitä hyödyksi muissa hankkeissa.

Hajautusaste ja ilmanvaihtojärjestelmän valinta

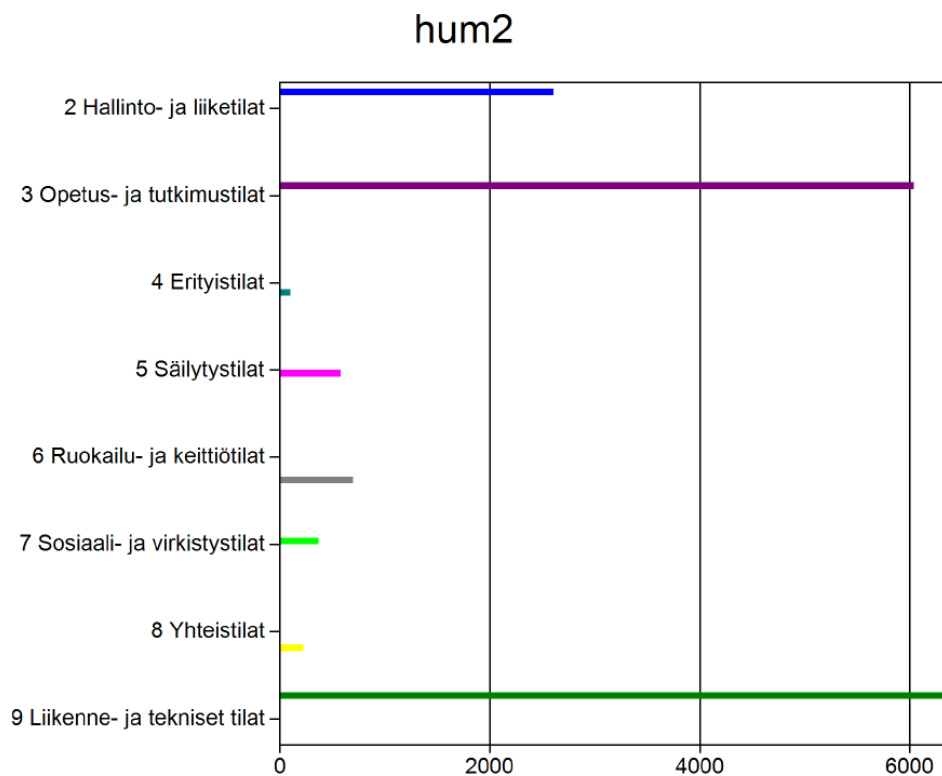
Parhaaseen tulokseen päästään ilmanvaihtojärjestelmällä 2, joka koostuu 3 m³/s:n koneista. Ilmanvaihtojärjestelmät 1 ja 4 eivät ole hajautettuja järjestelmiä, vaan ne ovat ilmamääriltään ja kuormituksiltaan optimoituina tutkittavaan tilaan. Kertahankintana ja elinkaarikustannukseltaan ilmanvaihtojärjestelmä 2 on edullisin hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä. Myös takaismaksuaika on lyhin hajautetuista järjestelmistä. Lauhdelämpöä voidaan hyödyntää 10 kW:n verran. Ilmanvaihtojärjestelmässä 2 on pyörivä lämmöntalteenotto, joten se ei ole voi olla valinta laboratoriotilojen ilmanvaihtojärjestelmäksi. Jos jätetään pois laskuista 12 m³/s koneet ja järjestelmät pyörivällä lämmöntalteenotolla edellä mainituilla syillä, parhaaksi vaihtoehdoksi jää ilmanvaihtojärjestelmä 5, jossa on 3 m³/s:n koneet vesi-/glykoli -levylämmönottolla. Laitelämpökuormia voidaan hyödyntää tilojen lämmittämisessä jopa 15 kW:iin asti. Tähän kohteeseen ilmanvaihtojärjestelmä 5 on toimivuuden kannalta paras ratkaisu. Sen takaisinmaksuaika on 6,4 vuotta ja elinkaarikustannukset ovat noin 42,2 % pienemmät kuin nykyisen ilmanvaihtojärjestelmän.

Lähteet

- 1 Edita Prima Ltd, VTT. Energy use, Visions and Technology Opportunities in Finland. 2007. ISBN 978-951-37-4742-8.
- 2 Ympäristöministerön kotisivut . Ilmastomuutoksen hillitsiminen.
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=249&lan=fi> . Luettu 20.1.2011.
- 3 Energiatodistusopas 2007. Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen, Energialuokitukset. Ympäristöministeriö.
- 4 Reinikainen, E. Rakennuksen energiatodistus ja energiaselvitys koulutusmateriaali Ins.tsto Granlund 16.10.2008
- 5 Ilmastointijärjestelmän suunnittelu muuntojoustavan rakennuksen elinkaarikustannusten kannalta. Tuukka Honkavaaran Diplomityö 18.5.2010
- 6 D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010.
- 7 Ilto 1000 Premium esite. Osio; hajautetun ilmanvaihdon etuja verrattuna keskitettyyn. Swegon ILTO Oy. www.ilto.fi
- 8 Recair Oy, Ilmastoinnin keskuskone Mitoitusohjelma versio 2010.5.1
- 9 Ziehl-Abegg AG, New EUP- and ERP directives. Koulutusmateriaali, Kunzelsau 2010.
- 10 Fläkt-Woods Oy. Tekninen käsikirja 2010 – ilmapuhaltuslaitteet.
- 11 Ashrae Handbook 2004. HVAC Systems and Equipment. SI Edition.
- 12 Mika, Vuolle. Vuosihyötysuhdelaskentaohjelma 5.2.2004.
- 13 Opas ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehon määrittämiseen, laskentaan ja mittaamiseen. 2. painos, LVI-Talotekniikkateollisuus ry, 2005.
- 14 Ziehl-Abegg, Fan selection program ZRV, version 5.0c / 3128.
- 15 Puhallintekninen käsikirja, Ilmateollisuus Oy, 1986.
- 16 Yrjölä, Jukka. Kiinteistöjen energiatehokkuus- ja elinkaarikustannukset. Investointilaskelmat. Opetusmoniste. Metropolia 2009.
- 17 Seppänen, Olli. Ilmastoinnin suunnittelu. Forssa: Forssan kirjapaino Oy, 2004.
- 18 Kähärä, Aleks. Ilmanvaihtokoneen lämmitysenergiälaskentaohjelma 22.2.2011 AK v.1.0

Rakennuksen tilatiedot

2.2.01 Tilaluokkien osuudet pääluokittain -pylväsdiagrammi



Tilaluokka	Huoneala	% osuus
2 Hallinto- ja liiketilat	2 608	15,30 %
3 Opetus- ja tutkimustilat	6 038	35,43 %
4 Erityistilat	98	0,58 %
5 Säilytystilat	578	3,39 %
6 Ruokailu- ja keittiötilat	699	4,10 %
7 Sosiaali- ja virkistystilat	367	2,15 %
8 Yhteistilat	225	1,32 %
9 Liikenne- ja tekniset tilat	6 429	37,72 %
Kaikki yhteensä	17 042	

Rakennuksen sähkökäyttöraportti ellaNet-järjestelmästä

Sähkönkäyttöraportti											
01.01.2009 - 31.12.2009											
Asnro:	1042034	Asnimi:	Helsingin yliopisto					Sähkövero:	Sopimusteho:		
Kp-tunnus:	2000189	Kp-osioite:	Vänö Auerinkatu 12 00560 HELSINKI					Sopimustunnus:	2006016288M		
Mitt.tunn:	HKE084							Valuutta:	EUR		
Tuotteet:	TEHOSÄHKÖ										
Kuukausi	Laskuri_1 KWH	Laskuri_2 KWH	Yhteensä KWH	Mitattu teho KW	Lask.myy teho KW	Lask.ve teho KW	Lask. lois	Myynti ALV 0%	verkkopalv. ALV 0%	Sähkövero + ALV	Yhteensä
TAMMI	448913	0	448913	0,00	0,00	0,00	0,00	22908,03	0,00	5039,77	27947,80
HELM	429260	0	429260	0,00	0,00	0,00	0,00	21776,36	0,00	4790,80	26567,16
MAALIS	460786	0	460786	0,00	0,00	0,00	0,00	22960,97	0,00	5051,41	28012,38
HUHTI	434088	0	434088	0,00	0,00	0,00	0,00	22299,10	0,00	4905,80	27204,90
TOUKO	447380	0	447380	0,00	0,00	0,00	0,00	23178,75	0,00	5099,33	28278,08
KESÄ	439348	0	439348	0,00	0,00	0,00	0,00	22591,27	0,00	4970,08	27561,35
HEINÄ	432696	0	432696	0,00	0,00	0,00	0,00	21963,65	0,00	4832,00	26795,65
ELO	437691	0	437691	0,00	0,00	0,00	0,00	23954,83	0,00	5270,06	29224,89
SYYS	445391	0	445391	0,00	0,00	0,00	0,00	24763,74	0,00	5448,02	30211,76
LOKA	459101	0	459101	0,00	0,00	0,00	0,00	23698,80	0,00	5213,73	28912,53
MARRAS	447829	0	447829	0,00	0,00	0,00	0,00	22642,24	0,00	4981,29	27623,53
JOULU	451246	0	451246	0,00	0,00	0,00	0,00	27882,49	0,00	6134,15	34016,64
Yhteensä	5333729	0	5333729					280620,23	0,00	61736,44	342356,67
Keskihinta snt / (ALV 0%) KWH								6,18	0,00	1,36	7,54
Max. teho / KW								0,00			
Huomautukset:											

Sähköenergian hinta vuodelle 2009 oli keskimäärin 0,0994 €/kWh sisältäen arvonlisäveron.

Vuoden 2009 sähköenergian kulutus oli 5 333 729 kWh.

Sähkökäyttöraportti 01.01.2010 - 31.12.2010											
Asnro:	1042034	As nimi:	Helsingin yliopisto	Sähkövero:							
Kp-tunnus:	2000189	Kp-osoitte:	Vänö Auerinkatu 12 00560 HELSINKI	Sopimusteho:							
Mitt.tunn:	HKE084			Sopimustunnus:	2006016288M						
				Valuutta:	EUR						
Tuotteet:	TEHOSÄHKÖ										
Kuukausi	Laskuri_1 KWH	Laskuri_2 KWH	Yhteensä KWH	Mitattu teho KW	Lask.myy teho KW	Lask.ve teho KW	Lask. lois	Myynti ALV 0%	Verkkopalv. ALV 0%	Sähkövero + ALV	Yhteensä
TAMMI	456327	0	456327	0,00	0,00	0,00	0,00	30186,03	0,00	6640,93	36826,96
HELM	426727	0	426727	0,00	0,00	0,00	0,00	33664,49	0,00	7406,19	41070,68
MAALIS	469349	0	469349	0,00	0,00	0,00	0,00	24439,00	0,00	5376,58	29815,58
HUHTI	441690	0	441690	0,00	0,00	0,00	0,00	22225,84	0,00	4889,69	27115,53
TOUKO	451284	0	451284	0,00	0,00	0,00	0,00	22848,51	0,00	5026,67	27875,18
KESÄ	457728	0	457728	0,00	0,00	0,00	0,00	23440,25	0,00	5156,86	28597,11
HEINÄ	474735	0	474735	0,00	0,00	0,00	0,00	26452,24	0,00	6084,01	32536,25
ELO	484034	0	484034	0,00	0,00	0,00	0,00	25794,17	0,00	5932,66	31726,83
SYYS	472732	0	472732	0,00	0,00	0,00	0,00	25971,89	0,00	5973,54	31945,43
LOKA	477817	0	477817	0,00	0,00	0,00	0,00	26160,48	0,00	6016,91	32177,39
Yhteensä	4612423	0	4612423					261182,90	0,00	58504,04	319686,94
Keskihinta snt / (ALV 0%) KWH								7,09	0,00	1,74	9,62
Max. teho / KW								0,00			
Huomautukset:											

Sähköenergian hinta vuodelle 2010 oli keskimäärin 0,1057 €/kWh sisältäen arvonlisäveron.

Vuoden 2010 sähköenergian kulutus oli 5 547 539 kWh.

Rakennuksen kaukolämpökulutukset

9.3.2011 9:03:22

1 (1)

KULUTUSVERTAILU (ALV ei sisälly hintoihin)

HELSINGIN YLIOPISTO
RYHTI
Ylläpidon hallintajärjestelmä

2 60201 A.I.VIRTASEN AUKIO 1, Chemicum

Lämpö [MWh]

■ [1]: Mitattu kulutus ■ [2]: Vertailuvuosi 2009

2 60201 A.I.VIRTASEN AUKIO 1, Chemicum Lämpö [MWh]

Postinumero: A.I.Virtasen aukio 1
Postitoimipaikka: HELSINKI
Postilokero: PL 55
Kunta: Helsinki
Kiinteistötunnus: 91-24-960-2

RATU-numero: 5466
Rakennustyyppi: 53 Korkeakoulu- ja tutkimuslaitosra
Omistaja: Helsingin Yliopistokiinteistöt Oy
Rakennusvuosi: 1994

	[1]: Mitattu kulutus	[2]: Vertailuvuosi 2009				Vertailu: ([1] - [2]) / [2] %
01: Tammikuu 2010	1 093	778				40,4
02: Helmikuu 2010	861	759				13,4
03: Maaliskuu 2010	720	676				6,4
04: Huhtikuu 2010	419	456				-8,1
05: Toukokuu 2010	227	192				18,4
06: Kesäkuu 2010	119	141				-15,5
07: Heinäkuu 2010	44	69				-36,7
08: Elokuu 2010	88	67				32,4
09: Syyskuu 2010	223	140				58,6
10: Lokakuu 2010	439	506				-13,2
11: Marraskuu 2010	702	524				34,1
12: Joulukuu 2010	1 049	860				21,9
Yhteensä:	5 983	5 167				15,8

KULUTUSVERTAILU

Helsingin Energian kaukolämpöhinnat



Kaukolämmön energia- ja vesivirtamaksut

Energiamaksut

Aika	Alv %	€/MWh, alv 0 %	€/MWh, alvillinen	
1.1.2011-28.2.2011	23	43,16	53,09	huippukulutuskausi
1.10.2010-31.12.2010	23	34,36	42,26	talvihinta
1.7.2010-30.9.2010	23	18,52	22,78	kesähinta
1.4.2010-30.6.2010	22	19,06	23,25	kesähinta
1.1.2010-31.3.2010	22	32,97	40,22	talvihinta
1.10.2009-31.12.2009	22	36,99	45,13	talvihinta
1.7.2009-30.9.2009	22	21,17	25,83	kesähinta
1.4.2009-30.6.2009	22	19,55	23,85	kesähinta
1.1.2009-31.3.2009	22	42,19	51,47	talvihinta
1.10.2008-31.12.2008	22	38,55	47,03	talvihinta
1.7.2008-30.9.2008	22	20,10	24,52	kesähinta

Vesivirtamaksut, 1.1.2011 alkaen

T49 2003 = 1701 (Keskiarvo tammi-kesäkuu)
T49 2010 = 1960 (Keskiarvo tammi-kesäkuu)

Sopimusvesivirta m³/h	Ilman arvonlisäveroa		Sisältää arvonlisäveron 23 %	
	€/v	€/kk	€/v	€/kk
0	0	0	0	0
0,10	252,18	21,01	310,18	25,85
0,15	362,32	30,19	445,66	37,14
0,20	472,47	39,37	581,13	48,43
0,25	582,61	48,55	716,61	59,72
0,30	692,75	57,73	852,09	71,01
0,35	783,77	65,31	964,03	80,34
0,40	876,05	73,00	1 077,54	89,80
0,45	968,34	80,69	1 191,06	99,25
0,50	1 060,62	88,39	1 304,57	108,71
0,60	1 245,20	103,77	1 531,59	127,63
0,70	1 429,77	119,15	1 758,62	146,55
0,80	1 614,34	134,53	1 985,64	165,47
0,90	1 798,92	149,91	2 212,67	184,39
1,00	1 983,49	165,29	2 439,69	203,31
1,20	2 352,63	196,05	2 893,74	241,15
1,40	2 721,78	226,82	3 347,79	278,98
1,60	3 090,93	257,58	3 801,84	316,82
1,80	3 460,07	288,34	4 255,89	354,66
2,00	3 829,22	319,10	4 709,94	392,49
2,20	4 103,72	341,98	5 047,57	420,63
2,40	4 378,22	364,85	5 385,21	448,77
2,60	4 652,72	387,73	5 722,84	476,90
2,80	4 927,22	410,60	6 060,48	505,04
3,00	5 201,72	433,48	6 398,11	533,18
3,20	5 476,22	456,35	6 735,74	561,31
3,40	5 750,71	479,23	7 073,38	589,45
3,60	6 025,21	502,10	7 411,01	617,58
3,80	6 299,71	524,98	7 748,65	645,72
4,00	6 574,21	547,85	8 086,28	673,86
4,40	7 123,21	593,60	8 761,55	730,13
4,80	7 672,21	639,35	9 436,82	786,40
5,20	8 075,03	672,92	9 932,29	827,69
5,60	8 372,49	697,71	10 298,16	858,18

Helsingin Energia Asiakaspalvelu asiakaspalvelu@helen.fi www.helen.fi	Postiosoite 00090 HELEN	Käyntiosoite Kampinkuja 2 Malmirinne 6	Avoimna Ma-pe 8.30-16.00	Puhelin Kotitaloudet: 010 802 802 Yritykset: 010 802 803
--	----------------------------	--	--------------------------------	--

Vesivirtamaksut

Sopimusvesivirta m³/h	Ilman arvonlisäveroa €/v €/kk		Sisältää arvonlisäveron 23 % €/v €/kk	
6,00	8 669,95	722,50	10 664,04	888,67
6,40	8 967,41	747,28	11 029,92	919,16
6,80	9 264,87	772,07	11 395,79	949,65
7,20	9 562,33	796,86	11 761,67	980,14
7,60	9 859,79	821,65	12 127,54	1 010,63
8,00	10 157,25	846,44	12 493,42	1 041,12
8,40	10 454,71	871,23	12 859,29	1 071,61
8,80	10 752,17	896,01	13 225,17	1 102,10
9,20	11 049,63	920,80	13 591,04	1 132,59
9,60	11 347,09	945,59	13 956,92	1 163,08
10	11 644,55	970,38	14 322,79	1 193,57
11	12 388,20	1 032,35	15 237,48	1 269,79
12	13 131,84	1 094,32	16 152,17	1 346,01
13	13 875,49	1 156,29	17 066,86	1 422,24
14	14 619,14	1 218,26	17 981,54	1 498,46
15	15 362,79	1 280,23	18 896,23	1 574,69
16	15 824,54	1 318,71	19 464,19	1 622,02
17	16 352,62	1 362,72	20 113,73	1 676,14
18	16 880,70	1 406,73	20 763,26	1 730,27
19	17 408,78	1 450,73	21 412,80	1 784,40
20	17 936,86	1 494,74	22 062,34	1 838,53
22	18 993,02	1 582,75	23 361,42	1 946,78
24	20 049,18	1 670,77	24 660,49	2 055,04
26	21 105,34	1 758,78	25 959,57	2 163,30
28	22 161,50	1 846,79	27 258,65	2 271,55
30	23 217,66	1 934,81	28 557,72	2 379,81
32	24 273,82	2 022,82	29 856,80	2 488,07
34	25 329,98	2 110,83	31 155,88	2 596,32
36	26 386,14	2 198,85	32 454,95	2 704,58
38	27 442,30	2 286,86	33 754,03	2 812,84
40	28 498,46	2 374,87	35 053,11	2 921,09
42	29 554,62	2 462,89	36 352,19	3 029,35
44	30 610,78	2 550,90	37 651,26	3 137,61
46	31 666,94	2 638,91	38 950,34	3 245,86
48	32 723,10	2 726,93	40 249,42	3 354,12
50	33 779,26	2 814,94	41 548,49	3 462,37
52	34 835,42	2 902,95	42 847,57	3 570,63
54	35 891,58	2 990,97	44 146,65	3 678,89
56	36 947,74	3 078,98	45 445,72	3 787,14
58	38 003,90	3 166,99	46 744,80	3 895,40
60	39 060,06	3 255,01	48 043,88	4 003,66
70	44 340,86	3 695,07	54 539,26	4 544,94
80	49 621,66	4 135,14	61 034,64	5 086,22
90	54 902,46	4 575,21	67 530,03	5 627,50
100	60 183,26	5 015,27	74 025,41	6 168,78
110	65 464,06	5 455,34	80 520,80	6 710,07
120	70 744,86	5 895,41	87 016,18	7 251,35
130	76 025,66	6 335,47	93 511,56	7 792,63
140	81 306,46	6 775,54	100 006,95	8 333,91
150	86 587,26	7 215,61	106 502,33	8 875,19
160	91 868,06	7 655,67	112 997,72	9 416,48
170	97 148,86	8 095,74	119 493,10	9 957,76
180	102 429,66	8 535,81	125 988,48	10 499,04
190	107 710,46	8 975,87	132 483,87	11 040,32
200	112 991,26	9 415,94	138 979,25	11 581,60
220	123 552,86	10 296,07	151 970,02	12 664,17
440	239 730,46	19 977,54	294 868,47	24 572,37

Ilmanvaihtojärjestelmän B214, konekortit



KOJA ILMASTOINTI OY

34

ILMANVAIHTO-
LAITELUETTELO / KONEKORTTI

M Merinen/ak

Helsinki 23.1.1995

Tunnus: B 214 TF
(B-TF-14.1)

Kohde: HELSINGIN YLIOPISTO (KEMIA) T-4266

Ilmamäärä: 16,6...3,35 m³/s
Tuloilmakoje: HELI-16
Vaikutusalue: Laboratoriot, keskiosa

Kojeen osat	Tekn. arvot	Toimittaja	Kpl
SÄLEPELTI HELI-16-T4	2600x2600+ER	Koja Oy	
SUODATINOSA HSOP-16-EU7 - suodatin Hi Flo 3M-85		Koja Oy Camfil Oy	16 kpl
LTO-PATTERI HELI-16		Koja Oy	
TARKASTUSOSA HTOT-16-450		Koja Oy	
LÄMMITYSPATTERI HELI-16		Koja Oy	
PUHALLINOSA HFOK-16-ABS-E-R		Koja Oy	
- ilmamäärä	16,6...3,35 m ³ /s		
- kokonaispaine	1300 Pa		
- kierrosluku	1240/780 r/min		
Laakerit	SKF-22213 CCK		
Tarkastusikkuna			
1. Hihnat	SPB-3550	SKS-Tekniikka Oy	3 kpl
Hihnapyörä	SPB-335-3-TL		
Holkki	3020x60		
2. Hihnat	SPB-3000	SKS-Tekniikka Oy	3 kpl
Hihnapyörä	SPB-280-3-TL		
Holkki	3020x60		
1. MOOTTORI MBT-225 S 60-4		ABB-Strömberg Oy	
- teho	37,0 kW		
- virta	74,0 A		
- jännite	380 V		
- kierrosluku	1475 r/min		
Laakerit	6214/C3 (NU214 ECP)		
Hihnapyörä	SPB-280-2-TL		
Holkki	3020x60		

Puhallin uusittu (sekavirtauspuhallin) 6.07

37 kW

TAAJUUSMUTTAJIN ohjaus, kanavapainotte



36

ILMANVAIHTO-
LAITELUETTELO / KONEKORTTI

M Merinen/ak

Helsinki 23.1.1995

Tunnus: B 214 PF 01
(B-PF-14.2)

Kohde: HELSINGIN YLIOPISTO (KEMIA) T-4266

Ilmamäärä: 16,3...3,3 m³/s
Poistoilmakoje: HELI-16
Vaikutusalue: Laboratoriot, oikea pääty

Kojeen osat	Tekn. arvot	Toimittaja	Kpl
SUODATINOSA HSOP-16-EU3 - suodatin Hi Cap HF 80/25-66		Koja Oy Camfil Oy	16 kpl
LTO-PATTERI HELI-16		Koja Oy	
PUHALLINOSA HFOK-16-ABS-E-L - ilmamäärä - kokonaispaine - kierrosluku Laakerit Tarkastusikkuna	16,3...3,3 m ³ /s 1350 Pa 1240/780 r/min SKF-22213 CCK	Koja Oy	

1.
Hihnat SPB-3550 SKS-Tekniikka Oy 3 kpl
Hihnapyörä SPB-335-3-TL
Holkki 3020x60

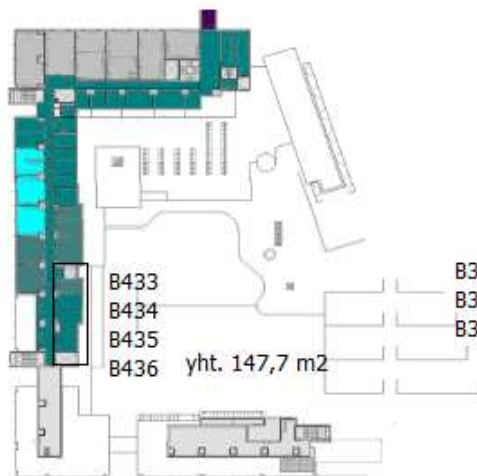
2.
Hihnat SPB-3000 SKS-Tekniikka Oy 3 kpl
Hihnapyörä SPB-280-3-TL
Holkki 3020x60

1.
MOOTTORI MBT-225 S 60-4 ABB-Strömberg Oy
- teho 37,0 kW
- virta 74,0 A
- jännite 380 V
- kierrosluku 1475 r/min
Laakerit 6214/C3 (NU214 ECP)
Hihnapyörä SPB-280-3-TL
Holkki 3020x60

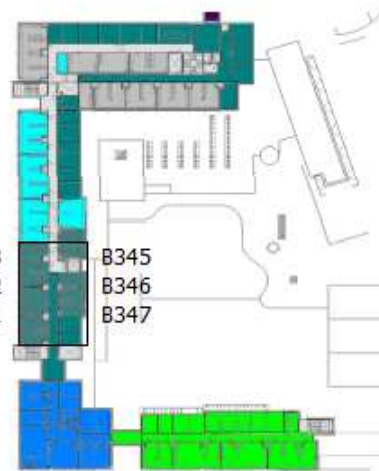
2.
MOOTTORI MBT-160 L 42-4 ABB-Strömberg Oy
- teho 15,0 kW
- virta 30,0 A
- jännite 380 V
- kierrosluku 1455 r/min
Laakerit 6209-Z/C3 (NU209 ECP)
Hihnapyörä SPB-150-3-TL
Holkki 2517x42

puh. uusittu 6.07 (seka virtauspuhallin) 37 kW
TAAJOUS MUUTTOJA OIKIANS

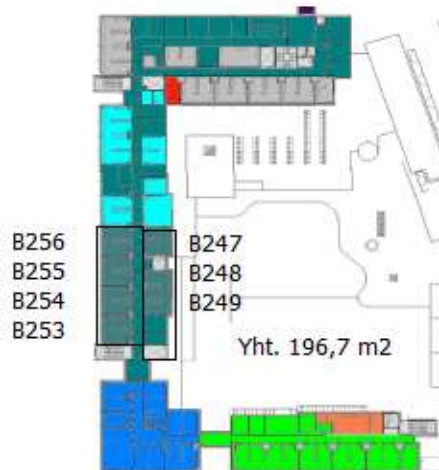
Tutkittavan tilan tilakohtaiset kuvat



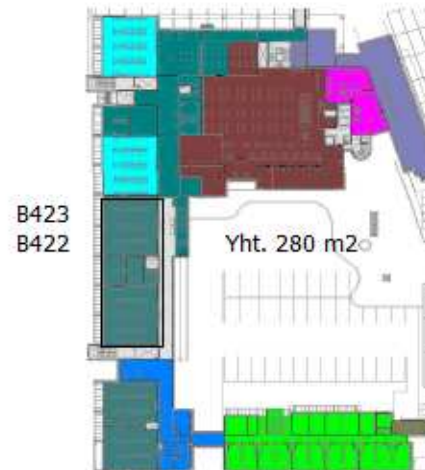
4. kerros



3. kerros



2. kerros



1. kerros



1. kerros osa c



1. kellari osa b

Ilmanvaihtokoneiden mitoitus tiedot



Ilmastoinnin keskuskone
Mitoitusohjelma versio 2010.5.1

17.1.2011
Sivu 1

Projektitiedot																
Projekti		A1 Virtasen aukio 1														
Käsitteijä																
Lisätiedot																
Koneitus	Koko	LTO-osa			Patterit			Äänit			Mootori			Ominaiskäyttöho		
		qT	qP	LTO	etaTs	etaT	v	qLP	qJP	qLTO	LWP	LWI	PN	IN	SFPv	SFP
					%	%	m/s	l/s	l/s	dB(A)	dB(A)	kW	A	kW/(m³/s)	kW/(m³/s)	
1: Kone 12.0 LR	7G	12.00		LR	75.7	75.7	2.16	8.76	6.69		59	74	22.0	47.0		
1: Kone 12.0 LR	7G		12.00	LR							84	50	18.5	39.0		
2: Kone 3.0 LR	5E	3.00		LR	76.4	76.4	1.32	2.19	1.68		61	69	5.50	12.8		
2: Kone 3.0 LR	5E		3.00	LR							80	51	5.50	12.8		
3: Kone 1.5 LR	4C	1.50		LR	76.1	76.1	1.29	1.09	0.84		60	68	3.00	6.40		
3: Kone 1.5 LR	4C		1.50	LR							79	50	3.00	6.40		
4: Kone 12.0 LG	8G	12.00		LG	55.0		1.59	8.76	6.80	5.11	55	75	18.5	39.0		
4: Kone 12.0 LG	8G		12.00	LG			1.59			5.11	83	53	15.0	33.0		
5: Kone 3.0 LG	5E	3.00		LG	55.0		1.32	2.19	1.70	1.41	60	71	5.50	12.8		
5: Kone 3.0 LG	5E		3.00	LG			1.32			1.41	79	52	4.00	9.40		
6: Kone 1.5 LG	4C	1.50		LG	55.0		1.29	1.09	0.85	0.69	59	69	2.20	4.70		
6: Kone 1.5 LG	4C		1.50	LG			1.29			0.69	78	51	2.20	4.70		
7: Kone 2.0 LR	4D	2.00		LR	76.7	76.7	1.40	1.46	1.12		61	69	4.00	8.20		
7: Kone 2.0 LR	4D		2.00	LR							80	51	4.00	8.20		
8: Kone 2.0 LG	4D	2.00		LG	52.0		1.40	1.46	1.14	0.69	60	70	4.00	8.20		
8: Kone 2.0 LG	4D		2.00	LG			1.40			0.69	79	52	4.00	8.20		

Projektitiedot																
Projekti	A I Virtasen aukio 1															
Käsittelijä	Risto Tammelin															
Lisätiedot																
Koneistus	Koko	qT	qP	LTO-osa		Patterit			Äänet			Moottori			Ominaisäähkäteho	
		m3/s	m3/s	LTO	etaTs	etaT	v	qLP	qJP	qLTO	LWP	LWI	PN	IN	SFPv	SFP
					%	%	m/s	l/s	l/s	l/s	dB(A)	dB(A)	kW	A	kW/(m³/s)	kW/(m³/s)
		55.50	55.50											186.4		
Yhteensä																

Kokonaissähköteho verkosta, puhtaast suodatimet 131.19 kW
Koneiden yhteinen SFP-luku, puhtaast suodatimet 2.36 kW/(m³/s)

Käytetyt lyhenteet:		Yksikkö
qT	Tuolilmavirta	m³/s
qP	Poistilmavirta	m³/s
LL	Levysilirin lämmöntalteenotto	
LG	Vesi-glykolipatteri lämmöntalteenotto	
LR	Roottori lämmöntalteenotto	
etaTs	Tuolilman lämpötilayhteyshde tasalimavirralla	%
etaT	Tuolilman lämpötilayhteyshde suunnittelulimavirralla	%
v	Pattereiden osapintanopeus	m/s
qLP	Lämmityspatterin vesivirta	l/s

Käytetyt lyhenteet:		Yksikkö
qJP	Jäähdytyspatterin vesivirta	l/s
qLTO	LTO-patterin nestevirta	l/s
LWP	Äänen tehotaso koneen painepuolella	dB(A)
LWI	Äänen tehotaso koneen imupuolella	dB(A)
PN	Puhallinmoottorin nimellisteho	kW
IN	Puhallinmoottorin nimellisteho (3-400V)	A
SFPv	Yksittäisen koneen ominaisäähköteho, puhdas suodatin	kW/(m³/s)
SFP	Tulo-poistokoneen ominaisäähköteho, puhdas suodatin	kW/(m³/s)



Kone: Kone 12.0 LR

Projektitiedot
 Projekti A I Virtasen aukio 1
 Käsittelijä Risto Tammelin
Kone : 1

Kone 12.0 LR

Yhteenvetotiedot

Korkeusasema	0	m
Ilmanpaine	1013	mbar
Ilman tiheys	1.20	kg/m ³

	Tulokone		Poistokone	
Konekoko	Recair 7G		Recair 7G	
Ilmavirta	12.00	m ³ /s	12.00	m ³ /s
Koneen ulkopuolinen staattinen painehäviö	540	Pa	540	Pa
Moottoriteho verkosta	17.31	kW	13.26	kW
Patterin otsapintanopeus	2.2	m/s		
Koneen otsapintanopeus	2.1	m/s	2.1	m/s
SFP, ominaistehontarve	2.47	kW/(m ³ /s)		

SFP-luvun laskennassa on mukana taajuusmuuttajan hyötysuhde 97%

 Äänitekniset suoritusarvot standardien ISO 3741, ISO 5136 ja ISO 7235 mukaisesti
 Äänen tehotasot oktaavikaistoittain koneen liitäntäaukoissa
Tulokone

Taajuuskaista Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		Kok.
Koneen painepuoli	74	66	47	47	52	49	53	48	dB	59 dB(A)
Koneen imupuoli	78	81	77	75	64	51	33	20	dB	74 dB(A)
Vaipan läpi	73	72	67	62	62	58	48	37	dB	66 dB(A)

Poistokone

Taajuuskaista Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k		Kok.
Koneen painepuoli	78	82	82	80	79	75	74	70	dB	84 dB(A)
Koneen imupuoli	72	63	41	40	37	29	20	11	dB	50 dB(A)
Vaipan läpi	71	70	64	59	59	56	45	35	dB	64 dB(A)

Kone: Kone 12.0 LR

Lisätiedot

Konetunnus

Konekoko

Tuloilmavirta

Poistoilmavirta

Kokonais(kuiva)paino

Lisätiedot

A I Virtasen aukio 1

Kone 12.0 LR

7G

12.00 m³/s

12.00 m³/s

10339 kg

- PATTERN KOHDALLA HUOLTOLUUKUT MYÖS TAKASEINÄSSÄ, TARVITTAESSA
MUISSAKIN OSISSA
- TULO- JA POISTOKONEESSA VARAUKSET LISÄPATTEREILLE

Käsittelijä

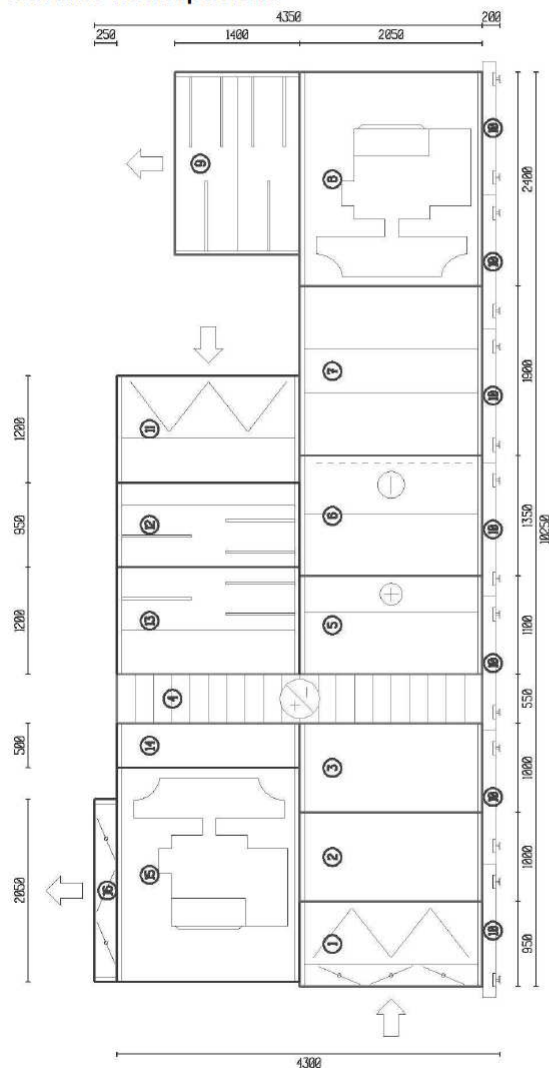
Mittakaava

Risto Tammelin

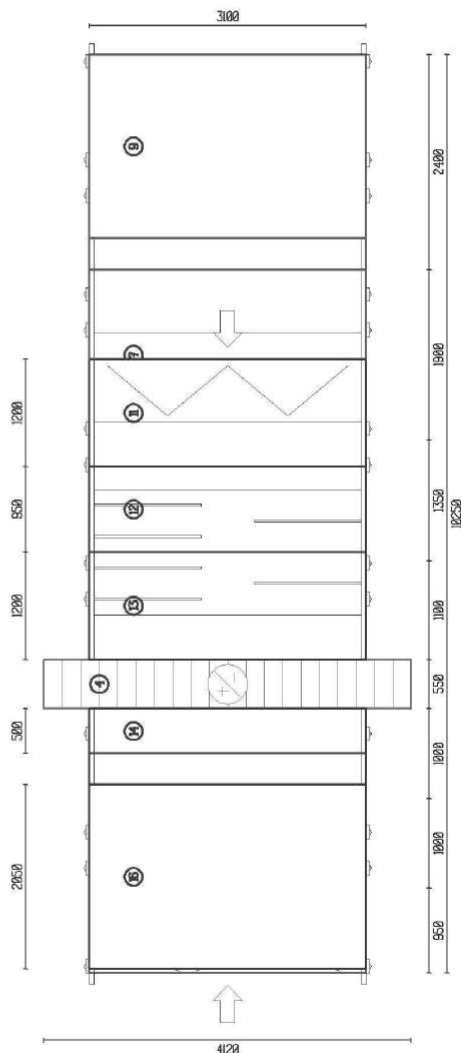
Ei mittakaavaa

Kanavaliitännät ilman liitäntälaippaa

Kuvanto huoltopuolelta



Kuvanto päältä



Kone: Kone 12.0 LR

Koneen osat ja tekniset tiedot**Tulokone****① KOTELO 7G L=950**

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 950	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	490	kg

SULKUOSA 7G L=250

Tiiviysluokka	TL 4	
Painehäviö	10	Pa
Vääntömomentin tarve	34	Nm

SUODATUSOSA 7G L=700

Suodatusluokka	F7	
Alkupainehäviö	91	Pa
Mitoituspainehäviö	137	Pa
Loppupainehäviö	182	Pa
Suodattimien määrä ja koko	10x[592x892]	
Varasuodatinsarja	1	kpl

② KOTELO 7G L=1000

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 1000	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	230	kg

HUOLTO-OSA 7G L=1000

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

③ KOTELO 7G L=1000

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 1000	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	230	kg

HUOLTO-OSA 7G L=1000

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

④ PYÖRIVÄ LÄMMÖNSIIRRINOSA 7G D=3860 SEKTOR.

Ei-hygroskooppiin sektoroitu roottorirakenne			
Mitat (leveys x korkeus x pituus)	4120 x 4100 x 550	mm	
Paino	1500	kg	
Sähköliitäntä (max)	230V/1-v/50Hz / 400	W	
Ulkopuolinen etusulake	6.3	A	
Ohjausviesti	0-10	V	
	Tulo	Poisto	
Ilmavirta	12.0 m ³ /s	12.0 m ³ /s	
Painehäviö	56 Pa	77 Pa	
Lämmitysteho	545.2 kW		
Tuloilman lämpötilahyötysuhde	76 %		
Tuloilman kosteushyötysuhde	17 %		
Tuleva ilma: lämpötila / kosteus	-26.0 °C / 50 %	22.0 °C / 20 %	
Lähtevä ilma: lämpötila / kosteus	10.3 °C / 9 %	-14.6 °C / 95 %	
Ilman vesisisältö, tuleva / lähtevä	0.23 / 0.71 g/kg	3.37 / 1.17 g/kg	

⑤ KOTELO 7G L=1100

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 1100	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	456	kg

HUOLTO-OSA 7G L=700

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

LÄMMÖNTALTEENOTTO-OSA 7G Z=4 TULO

Ilmavirta	12.0	m ³ /s
Lämmitysteho	547.2	kW
Putkirivit / lamellijako	4 / 2.0	mm
Otsapintanopeus / painehäviö	2.2 m/s / 54	Pa
Ilman lämpötila, tuleva / lähtevä	-10.0 / 28.0	°C

Kone: Kone 12.0 LR

Lämmönsiirtoneste	Etyleeniglykoli 0	%
Tuleva / lähtevä neste	50 / 35	°C
Nestevirta / nopeus / painehäviö	8.76 l/s / 1.15 m/s / 9.7	kPa
Nestetilavuus	97	l
Putkiyhteet, laippaliitos	DN100	

⑥ KOTELO 7G L=1350

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 1350	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	697	kg

HUOLTO-OSA 7G L=700

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

JÄÄHDYTYSSOSA VESI 7G Z=8

Ilmavirta	12.0	m3/s
Jäähdytysteho	224.2	kW
Putkirivit / lamellijako	8 / 3.0	mm
Otsapintanopeus / painehäviö	2.2 m/s / 83	Pa
Tuleva ilma: lämpötila / kosteus / entalpia	26.0 °C / 60 % / 59.2	kJ/kg
Lähtevä ilma: lämpötila / kosteus / entalpia	16.0 °C / 93 % / 42.8	kJ/kg
Lämmönsiirtoneste	Vesi	
Tuleva / lähtevä neste	10 / 18	°C
Nestevirta / nopeus / painehäviö	6.69 l/s / 0.97 m/s / 19.7	kPa
Nestetilavuus	140	l
Putkiyhteet, laippaliitos	DN80	
Pisaranerotin		
Painehäviö	13	Pa
Vesilukko DN 32, irrallisena		

⑦ KOTELO 7G L=1900

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 1900	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	435	kg

HUOLTO-OSA 7G L=700

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

HUOLTO-OSA 7G L=500

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

HUOLTO-OSA 7G L=700

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

⑧ KOTELO 7G L=2400

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 2400	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	1737	kg

PUHALLINOSA 7G 1120 ASETO3 SUORAKÄYTTÖ

Suoritusarvojen toleranssi DIN 24166

Laitevalmistaja	ER	
Siipityyppi/koko	Taaksepäin kaartuva / D1120	
Ilmavirta	12.0	m3/s
Liitântätapa	Kammioon	
Puhaltimen kokonaispaine	979	Pa
Puhaltimen hyötysuhde	77	%
Sähköinen kokonaishyötysuhde	68	%
Pyörimisnopeus	785	1/min
Maksimi pyörimisnopeus	880	1/min
Puhaltimen akseliteho	15.28	kW
Ilmavirran mittauksen paine-ero / k-arvo	1228 Pa / 0.343	

PUHALLIN ER1120C

Virtalaji	400V/3-v/50Hz	
Moottorin akseliteho	15.28	kW
Nimellisteho	22.00	kW
Nimellisvirta	47.00	A
Pyörimisnopeus	730	1/min

Kone: Kone 12.0 LR

Hyötysuhde	91	%
Moottorin verkosta ottama sähköteho toimintapisteessä	17.31	kW
Moottorin taajuus toimintapisteessä	54	Hz
Moottorin sallittu maksimitaajuus	60	Hz
Tarkastusikkuna vakiovarusteena		
Valaisin IP 44		
Kytkin ja johdotus valaisimelle		
Ilmavirtamittari, analoginen		

9 KOTELO 7G L=1400

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 1400	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	821	kg

ÄÄNENVAIM.OSA SUORA 7G L=700 ULOSVEDET.

Painehäviö	25	Pa
------------	----	----

ÄÄNENVAIM.OSA SUORA 7G L=700 ULOSVEDET.

Painehäviö	25	Pa
------------	----	----

Poistokone**11 KOTELO 7G L=1200**

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 1200	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	343	kg

SUODATUSOSA 7G L=700

Suodatusluokka	F5	
Alkupainehäviö	44	Pa
Mitoituspainehäviö	67	Pa
Loppupainehäviö	88	Pa
Suodattimien määrä ja koko	10x[592x892]	
Varasuodatinsarja	1	kpl

HUOLTO-OSA 7G L=500

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

12 KOTELO 7G L=950

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 950	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	472	kg

HUOLTO-OSA 7G L=250

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

ÄÄNENVAIM.OSA SUORA 7G L=700 ULOSVEDET.

Painehäviö	25	Pa
------------	----	----

13 KOTELO 7G L=1200

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 1200	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	525	kg

ÄÄNENVAIM.OSA SUORA 7G L=700 ULOSVEDET.

Painehäviö	25	Pa
------------	----	----

HUOLTO-OSA 7G L=500

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

4 PYÖRIVÄ LÄMMÖNSIIRRINOSA 7G D=3860 SEKTOR.

Tulokset tulokoneen yhteydessä

14 KOTELO 7G L=500

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 500	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	124	kg

HUOLTO-OSA 7G L=500

Painehäviö	0	Pa
------------	---	----

Kone: Kone 12.0 LR

15 KOTELO 7G L=2400

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 2400	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	1707	kg

PUHALLINOSA 7G 1120 ASENTO3 SUORAKÄYTTÖ

Suoritusarvojen toleranssi DIN 24166

Laitevalmistaja	ER	
Siipityyppi/koko	Taaksepäin kaartuva / D1120	
Ilmavirta	12.0	m3/s
Liitântätapa	Kammioon	
Puhaltimen kokonaispaine	758	Pa
Puhaltimen hyötysuhde	79	%
Sähköinen kokonaishyötysuhde	69	%
Pyörimisnopeus	712	1/min
Maksimi pyörimisnopeus	835	1/min
Puhaltimen akseliteho	11.58	kW
Ilmavirran mittauksen paine-ero / k-arvo	1228 Pa / 0.343	$(q = k \sqrt{dp})$

PUHALLIN ER1120C

Virtalaji	400V/3-v/50Hz	
Moottorin akseliteho	11.58	kW
Nimellisteho	18.50	kW
Nimellisvirta	39.00	A
Pyörimisnopeus	730	1/min
Hyötysuhde	90	%
Moottorin verkosta ottama sähköteho toimintapisteessä	13.26	kW
Moottorin taajuus toimintapisteessä	49	Hz
Moottorin sallittu maksimitaajuus	57	Hz
Tarkastusikkuna vakiovarusteena		
Valaisin IP 44		
Kytkin ja johdotus valaisimelle		
Ilmavirtamittari, analoginen		

16 KOTELO 7G L=250

Mitat (leveys x korkeus x pituus)	3100 x 2050 x 250	mm
Paino, sisältää kotelon ja osat	271	kg

SULKUOSA 7G L=250

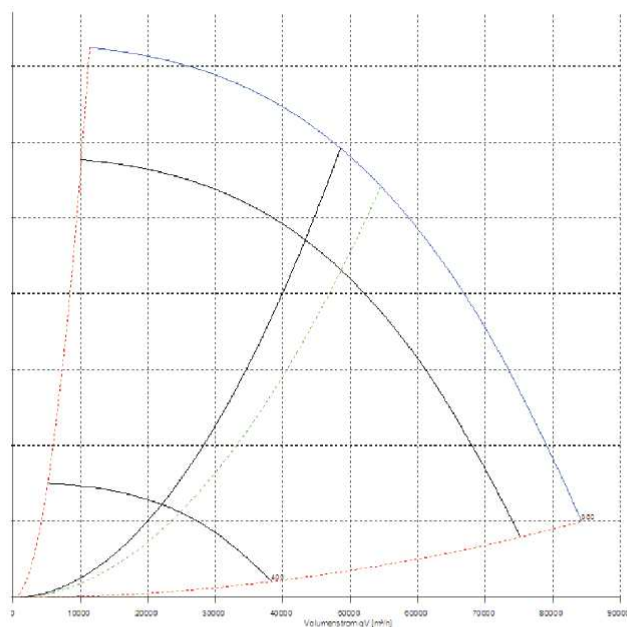
Tiiviysluokka	TL 4	
Painehäviö	10	Pa
Vääntömomentin tarve	34	Nm

10 KONEALUSTA 7G-8G L=1500 B=3100 H=200

Säätöjalat synteettisin kumitalloin		
Konealustojen lukumäärä	7	kpl
Paino	43	kg

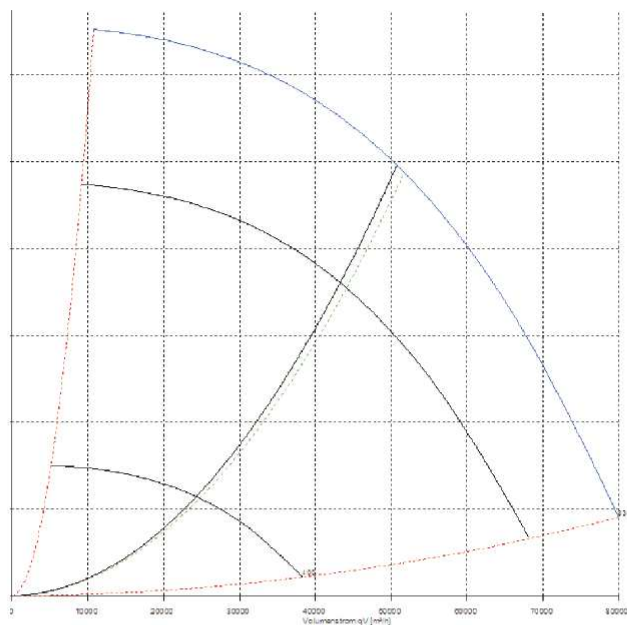
Kone: Kone 12.0 LR

Puhallinkäyrästä



Kone: Kone 12.0 LR

Puhallinkäyrästä



Puhaltimien mitoitus

1: TF 12.0 LR



Fan type ER11C-8DN.R7.1R Art.No. 112465/0F01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

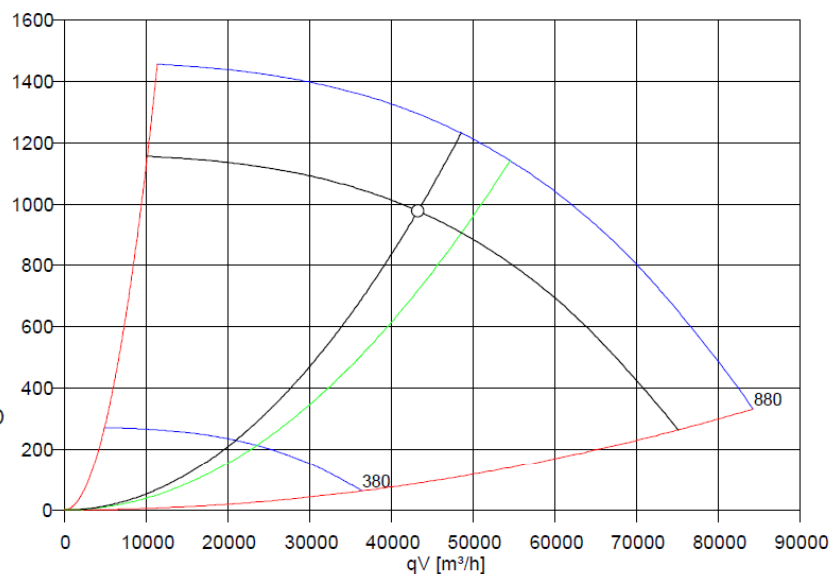
Fan data

qV 43200 m³/h pF [Pa]
psF 944 Pa
pd2 35 Pa
n 784 1/min
PL 15.27 kW
PLmax 15.56 kW
 η_{tL} 76.9 %
 η_{faL} 74.2 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

Ziehl-Abegg motor
with enhanced efficiency
BG 225M / B3 IP55
Th.Cl.155, 3~ 400 V/50 Hz D
Pnom 22.00 kW
nnom 730 1/min
 η_M 91.4 %
Inom 44.50 A
Mnom 287.81 Nm

fop 54 Hz



Sound power sum level (w/o tonal noise)

Lw5 suction side	84	87	90	89	85	80	76	71	95 dB
Lw6 pressure side	86	89	92	91	87	82	78	73	97 dB
Lw(A)5 suction side	58	71	81	86	85	81	77	70	90 dB
Lw(A)6 pressure side	60	73	83	88	87	83	79	72	92 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Supplements

P1 17.34 kW (incl. Motor and VFD efficiency)
PSFP 1445 W/(m³/s)
fmax 60 Hz
nmax 880 1/min

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 1233 (effective pressure 1227 Pa)
max. dimensions WxHxL 1400 x 1510 x 1630 mm
Recommended housing width 2061 x 2061 mm
Weight 738 kg

Accessories (optional)

Rubber damper 75/50/M12/55 Art.No. 02000407
Spring suspens. SD 6 Art.No. 02006452
Protective grid suction side Art.No. 00409771
Flex. connector suction side Art.No. 00403352
Freq.inv. IP20 FXDM46AE Art.No. 308089
Freq.inv. IP54 FXDM46A Art.No. 308088

1: PF 12.0 LR



Fan type ER11C-8DN.P7.1R Art.No. 112464/0F01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

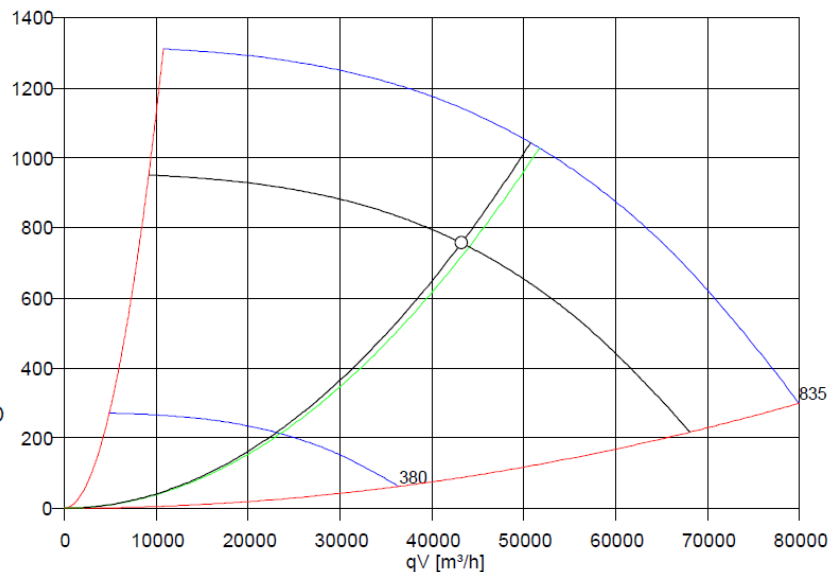
Fan data

qV 43200 m³/h pF [Pa]
psF 723 Pa
pd2 35 Pa
n 711 1/min
PL 11.58 kW
PLmax 11.61 kW
 η_{tL} 78.5 %
 η_{faL} 74.9 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

Ziehl-Abegg motor
with enhanced efficiency
BG 225S / B3 IP55
Th.Cl.155, 3~ 400 V/50 Hz D
Pnom 18.50 kW
nnom 730 1/min
 η_M 90.0 %
Inom 38.70 A
Mnom 242.02 Nm

fop 49 Hz



Sound power sum level (w/o tonal noise)

Lw5 suction side	81	84	87	86	82	77	73	68	92 dB
Lw6 pressure side	83	86	89	88	84	79	75	70	94 dB
Lw(A)5 suction side	55	68	78	83	82	79	74	67	87 dB
Lw(A)6 pressure side	57	70	80	85	84	81	76	69	89 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Supplements

P1 13.48 kW (incl. Motor and VFD efficiency)
PSFP 1124 W/(m³/s)
fmax 57 Hz
nmax 835 1/min

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 1233 (effective pressure 1227 Pa)
max. dimensions WxHxL 1400 x 1510 x 1630 mm
Recommended housing width 2061 x 2061 mm
Weight 716 kg

Accessories (optional)

Rubber damper 75/50/M12/55 Art.No. 02000407
Spring suspens. SD 6 Art.No. 02006452
Protective grid suction side Art.No. 00409771
Flex. connector suction side Art.No. 00403352
Freq.inv. IP20 FXDM39AE Art.No. 308081
Freq.inv. IP54 FXDM39A Art.No. 308080

2: TF 3.0 LR



Fan type ER71C-6DN.H7.1R Art.No. 130555/0F01

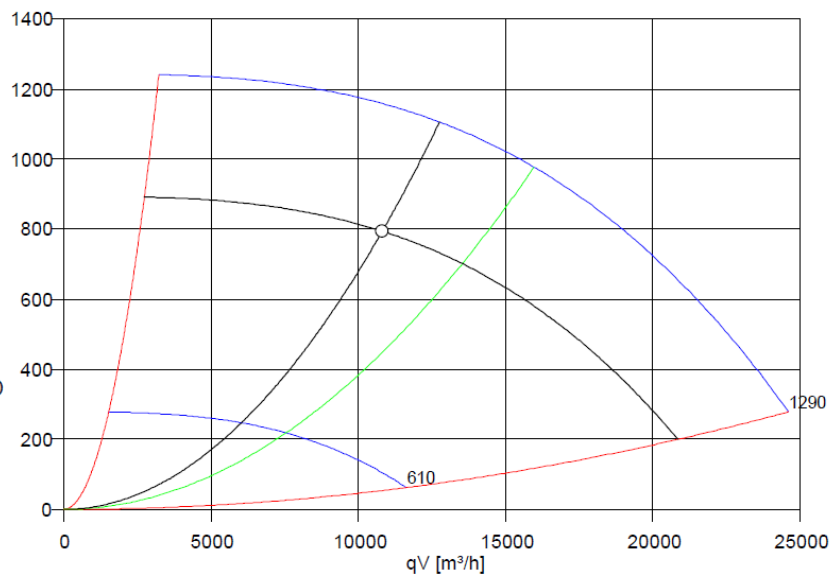
01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 10800 m³/h pF [Pa]
psF 773 Pa
pd2 22 Pa
n 1093 1/min
PL 3.20 kW
PLmax 3.35 kW
 η_{tL} 74.5 %
 η_{faL} 72.5 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

Ziehl-Abegg motor IE2
BG 132M / B3 IP55
Th.Cl.155, 3~ 400 V/50 Hz D
Pnom 5.50 kW
nnom 960 1/min
 η_M 87.6 %
Inom 11.80 A
Mnom 54.71 Nm
fop 57 Hz



Sound power sum level (w/o tonal noise)

Lw5 suction side	77	81	84	84	79	75	71	66	89 dB
Lw6 pressure side	79	83	86	86	81	77	73	68	91 dB
Lw(A)5 suction side	51	65	76	80	79	76	72	65	85 dB
Lw(A)6 pressure side	53	67	78	82	81	78	74	67	87 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Supplements

P1 3.83 kW (incl. Motor and VFD efficiency)
PSFP 1277 W/(m³/s)
fmax 67 Hz
nmax 1290 1/min

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 490 (effective pressure 485 Pa)
max. dimensions WxHxL 960 x 1023 x 904 mm
Recommended housing width 1298 x 1298 mm
Weight 154 kg

Accessories (optional)

Rubber damper 40/40/M8/40 Art.No. 02001049
Spring suspens. SD 4 Art.No. 02006450
Protective grid suction side Art.No. 00409767
Flex. connector suction side Art.No. 00403350
Freq.inv. IP54 FXDM12A Art.No. 308152

2: PF 3.0 LR



Fan type ER71C-6DN.H7.1R Art.No. 130555/0F01

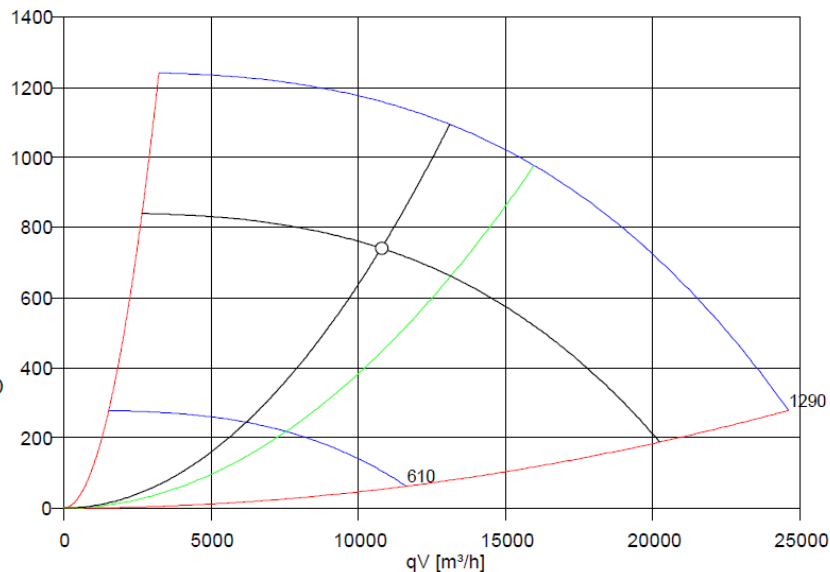
01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 10800 m³/h pF [Pa]
psF 719 Pa
pd2 22 Pa
n 1061 1/min
PL 2.95 kW
PLmax 3.07 kW
 η_{tL} 75.2 %
 η_{faL} 73.0 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

Ziehl-Abegg motor IE2
BG 132M / B3 IP55
Th.Cl.155, 3~ 400 V/50 Hz D
Pnom 5.50 kW
nnom 960 1/min
 η_M 87.6 %
Inom 11.80 A
Mnom 54.71 Nm
fop 55 Hz



Sound power sum level (w/o tonal noise)

Lw5 suction side	76	80	83	83	79	74	70	65	88 dB
Lw6 pressure side	78	82	85	85	81	76	72	67	90 dB
Lw(A)5 suction side	50	64	75	80	79	75	71	64	84 dB
Lw(A)6 pressure side	52	66	77	82	81	77	73	66	86 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Supplements

P1 3.57 kW (incl. Motor and VFD efficiency)
PSFP 1189 W/(m³/s)
fmax 67 Hz
nmax 1290 1/min

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 490 (effective pressure 485 Pa)
max. dimensions WxHxL 960 x 1023 x 904 mm
Recommended housing width 1298 x 1298 mm
Weight 154 kg

Accessories (optional)

Rubber damper 40/40/M8/40 Art.No. 02001049
Spring suspens. SD 4 Art.No. 02006450
Protective grid suction side Art.No. 00409767
Flex. connector suction side Art.No. 00403350
Freq.inv. IP54 FXDM12A Art.No. 308152

3: TF 1.5 LR



Fan type ER50C-ZID.GG.1R Art.No. 114082/A01 01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 5400 m³/h pF [Pa]
psF 767 Pa
pd2 26 Pa
n 1573 1/min
P1 2.03 kW
P1max 2.13 kW
PSFP 1355 W/(m³/s)
 η_{tM} 58.6 %
 η_{faM} 56.6 %
 ρ 1.21 kg/m³
 at 20°C, 0m

Motor data

External rotor motor ECblue

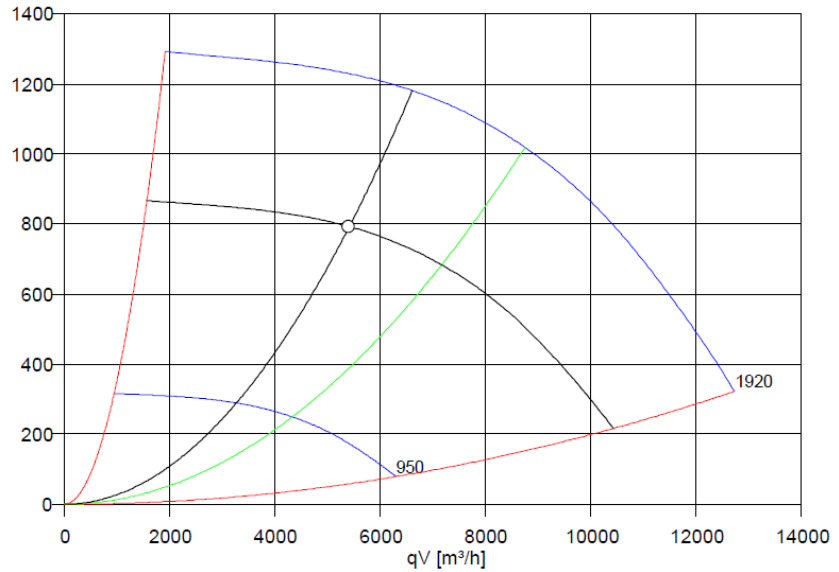
, Th.Cl.155

3~ 380...480V 50/60Hz

P1 3.80 kW

nmax 1920 1/min

Inom 6.1 - 4.8 A



Sound power sum level

Lw5 suction side	77	82	79	75	71	70	66	63	86 dB
Lw6 pressure side	79	84	81	77	73	72	68	65	88 dB
Lw(A)5 suction side	50	67	71	72	71	71	67	62	78 dB
Lw(A)6 pressure side	52	69	73	74	73	73	69	64	80 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000 Hz	sum

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 252 (effective pressure 459 Pa)
max. dimensions WxHxL 630 x 650 x 888 mm
Recommended housing width 927 x 927 mm
Weight 57 kg

Accessories (optional)

Rubber damper Schutzgitter Art.No. 2001048

3: PF 1.5 LR



Fan type ER50C-ZID.GG.1R Art.No. 114082/A01 01/22/11 Version 5.0c / 3128

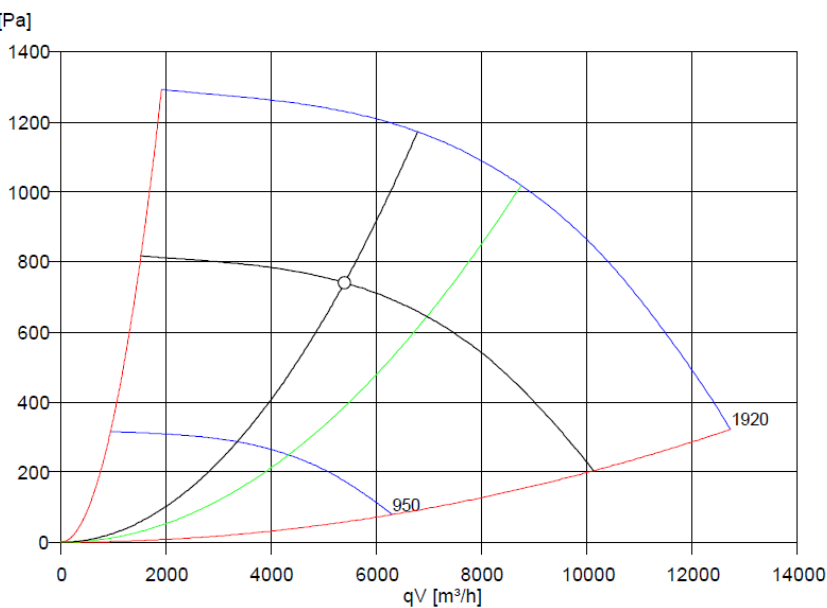
Fan data

qV 5400 m³/h pF [Pa]
psF 715 Pa
pd2 26 Pa
n 1527 1/min
P1 1.88 kW
P1max 1.95 kW
PSFP 1251 W/(m³/s)
η_{tM} 59.2 %
η_{faM} 57.1 %
ρ 1.21 kg/m³
 at 20°C, 0m

Motor data

External rotor motor ECblue

, Th.Cl.155
3~ 380...480V 50/60Hz
P1 3.80 kW
n_{max} 1920 1/min
I_{nom} 6.1 - 4.8 A



Sound power sum level

Lw5 suction side	75	81	78	74	70	69	65	62	85 dB
Lw6 pressure side	77	83	80	76	72	71	67	64	87 dB
Lw(A)5 suction side	49	66	70	71	70	70	66	61	77 dB
Lw(A)6 pressure side	51	68	72	73	72	72	68	63	79 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Additional information

k-factor (C-nozzle, ρ = 1.2 kg/m³) 252 (effective pressure 459 Pa)
max. dimensions WxHxL 630 x 650 x 888 mm
Recommended housing width 927 x 927 mm
Weight 57 kg

Accessories (optional)

Rubber damper Schutzgitter Art.No. 2001048

4: TF 12.0 LG



Fan type ER11C-8DN.P7.1R Art.No. 112464/0F01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

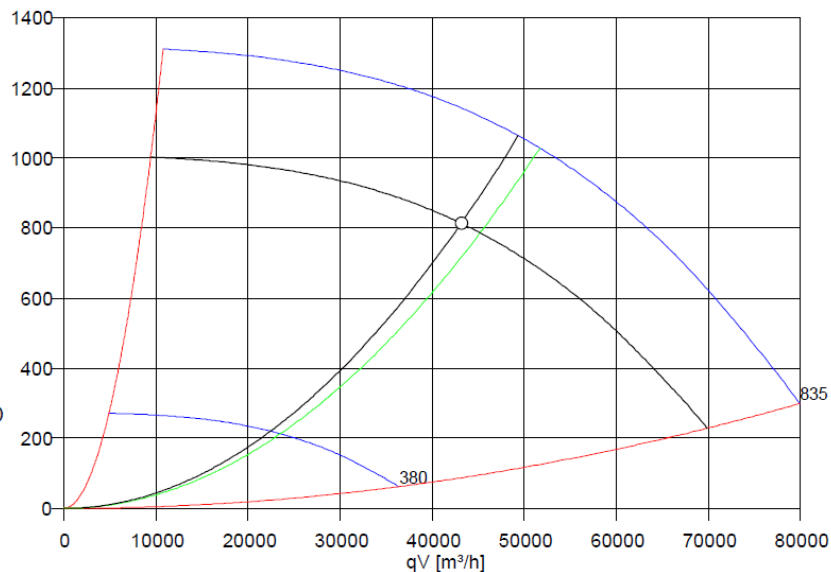
Fan data

qV 43200 m³/h pF [Pa]
psF 779 Pa
pd2 35 Pa
n 730 1/min
PL 12.50 kW
PLmax 12.57 kW
η_{TL} 78.2 %
η_{faL} 74.8 %
ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

Ziehl-Abegg motor
with enhanced efficiency
BG 225S / B3 IP55
Th.Cl.155, 3~ 400 V/50 Hz D
P_{nom} 18.50 kW
n_{nom} 730 1/min
η_M 90.0 %
I_{nom} 38.70 A
M_{nom} 242.02 Nm

fop 50 Hz



Sound power sum level (w/o tonal noise)

Lw5 suction side	82	85	88	87	83	78	74	69	93 dB
Lw6 pressure side	84	87	90	89	85	80	76	71	95 dB
Lw(A)5 suction side	56	69	79	84	83	79	75	68	88 dB
Lw(A)6 pressure side	58	71	81	86	85	81	77	70	90 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Supplements

P1 14.46 kW (incl. Motor and VFD efficiency)
PSFP 1205 W/(m³/s)
fmax 57 Hz
nmax 835 1/min

Additional information

k-factor (C-nozzle, ρ = 1.2 kg/m³) 1233 (effective pressure 1227 Pa)
max. dimensions WxHxL 1400 x 1510 x 1630 mm
Recommended housing width 2061 x 2061 mm
Weight 716 kg

Accessories (optional)

Rubber damper 75/50/M12/55 Art.No. 02000407
Spring suspens. SD 6 Art.No. 02006452
Protective grid suction side Art.No. 00409771
Flex. connector suction side Art.No. 00403352
Freq.inv. IP20 FXDM39AE Art.No. 308081
Freq.inv. IP54 FXDM39A Art.No. 308080

4: PF 12.0 LG



Fan type ER11C-8DN.N7.1R Art.No. 112463/0F01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

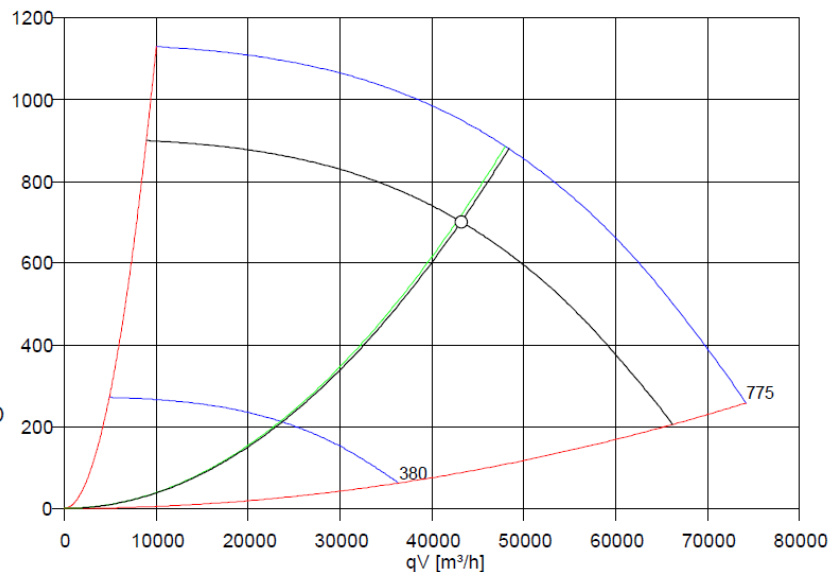
Fan data

qV 43200 m³/h pF [Pa]
 psF 667 Pa
 $pd2$ 35 Pa
 n 692 1/min
 PL 10.68 kW
 PL_{max} 10.69 kW
 η_{tL} 78.9 %
 η_{faL} 74.9 %
 ρ 1.21 kg/m³
 at 20°C, 0m

Motor data

Ziehl-Abegg motor
 with enhanced efficiency
 BG 200L / B3 IP55
 Th.Cl.155, 3~ 400 V/50 Hz D
 P_{nom} 15.00 kW
 n_{nom} 730 1/min
 η_M 90.2 %
 I_{nom} 31.60 A
 M_{nom} 196.23 Nm

f_{op} 47 Hz



Sound power sum level (w/o tonal noise)

Lw5 suction side	81	84	86	85	81	77	72	68	91 dB
Lw6 pressure side	83	86	88	87	83	79	74	70	93 dB
Lw(A)5 suction side	55	67	78	82	81	78	73	66	86 dB
Lw(A)6 pressure side	57	69	80	84	83	80	75	68	88 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Supplements

P_1 12.29 kW (incl. Motor and VFD efficiency)
 $PSFP$ 1024 W/(m³/s)
 f_{max} 53 Hz
 n_{max} 775 1/min

Additional information

k -factor (C-nozzle, $\rho = 1.2$ kg/m³) 1233 (effective pressure 1227 Pa)
 max. dimensions WxHxL 1400 x 1510 x 1630 mm
 Recommended housing width 2061 x 2061 mm
 Weight 674 kg

Accessories (optional)

Rubber damper 75/50/M12/55 Art.No. 02000407
 Spring suspens. SD 6 Art.No. 02006452
 Protective grid suction side Art.No. 00409771
 Flex. connector suction side Art.No. 00403352
 Freq.inv. IP20 FXDM32AE Art.No. 308079
 Freq.inv. IP54 FXDM32A Art.No. 308078

5: TF 3.0 LG



Fan type ER71C-6DN.H7.1R Art.No. 130555/0F01

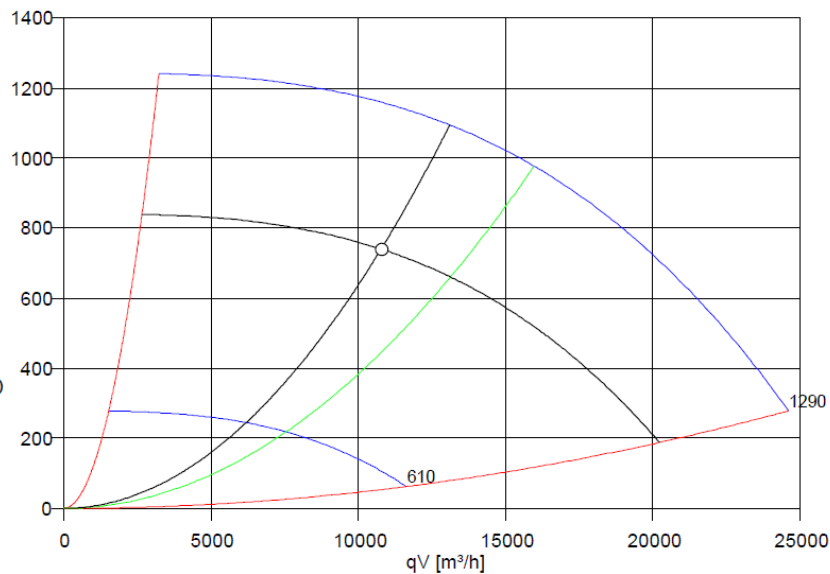
01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 10800 m³/h pF [Pa]
psF 718 Pa
pd2 22 Pa
n 1061 1/min
PL 2.95 kW
PLmax 3.06 kW
 η_{tL} 75.2 %
 η_{faL} 73.0 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

Ziehl-Abegg motor IE2
BG 132M / B3 IP55
Th.Cl.155, 3~ 400 V/50 Hz D
Pnom 5.50 kW
nnom 960 1/min
 η_M 87.6 %
Inom 11.80 A
Mnom 54.71 Nm
fop 55 Hz



Sound power sum level (w/o tonal noise)

Lw5 suction side	76	80	83	83	79	74	70	65	88 dB
Lw6 pressure side	78	82	85	85	81	76	72	67	90 dB
Lw(A)5 suction side	50	64	75	79	79	75	71	64	84 dB
Lw(A)6 pressure side	52	66	77	81	81	77	73	66	86 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Supplements

P1 3.56 kW (incl. Motor and VFD efficiency)
PSFP 1187 W/(m³/s)
fmax 67 Hz
nmax 1290 1/min

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 490 (effective pressure 485 Pa)
max. dimensions WxHxL 960 x 1023 x 904 mm
Recommended housing width 1298 x 1298 mm
Weight 154 kg

Accessories (optional)

Rubber damper 40/40/M8/40 Art.No. 02001049
Spring suspens. SD 4 Art.No. 02006450
Protective grid suction side Art.No. 00409767
Flex. connector suction side Art.No. 00403350
Freq.inv. IP54 FXDM12A Art.No. 308152

5: PF 3.0 LG



Fan type ER71C-6DN.H7.1R Art.No. 130554/0F01

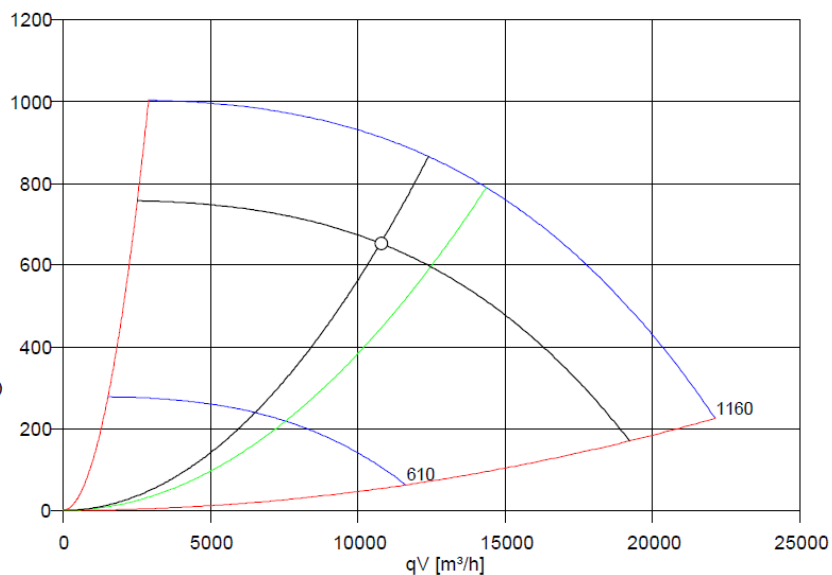
01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 10800 m³/h
psF 631 Pa
pd2 22 Pa
n 1008 1/min
PL 2.56 kW
PLmax 2.63 kW
 η_{tL} 76.4 %
 η_{faL} 73.8 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

Ziehl-Abegg motor IE2
BG 132M / B3 IP55
Th.Cl.155, 3~ 400 V/50 Hz D
Pnom 4.00 kW
nnom 960 1/min
 η_M 86.3 %
Inom 8.10 A
Mnom 39.79 Nm
fop 52 Hz



Sound power sum level (w/o tonal noise)

Lw5 suction side	75	79	82	81	77	73	68	64	87 dB
Lw6 pressure side	77	81	84	83	79	75	70	66	89 dB
Lw(A)5 suction side	49	63	73	78	77	74	69	63	82 dB
Lw(A)6 pressure side	51	65	75	80	79	76	71	65	84 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Supplements

P1 3.10 kW (incl. Motor and VFD efficiency)
PSFP 1033 W/(m³/s)
fmax 61 Hz
nmax 1160 1/min

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 490 (effective pressure 485 Pa)
max. dimensions WxHxL 960 x 1023 x 904 mm
Recommended housing width 1298 x 1298 mm
Weight 145 kg

Accessories (optional)

Rubber damper 40/40/M8/40 Art.No. 02001049
Spring suspens. SD 4 Art.No. 02006450
Protective grid suction side Art.No. 00409767
Flex. connector suction side Art.No. 00403350
Freq.inv. IP54 FXDM8.5A Art.No. 308151

6: TF 1.5 LG



Fan type ER50C-ZID.GG.1R Art.No. 114082/A01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV	5400 m³/h	pF [Pa]
psF	704 Pa	1400
pd2	26 Pa	1200
n	1517 1/min	1000
P1	1.84 kW	800
P1max	1.91 kW	600
PSFP	1230 W/(m³/s)	400
ηtM	59.4 %	200
ηfaM	57.2 %	0
ρ	1.21 kg/m³	
	at 20°C, 0m	

Motor data

External rotor motor ECblue

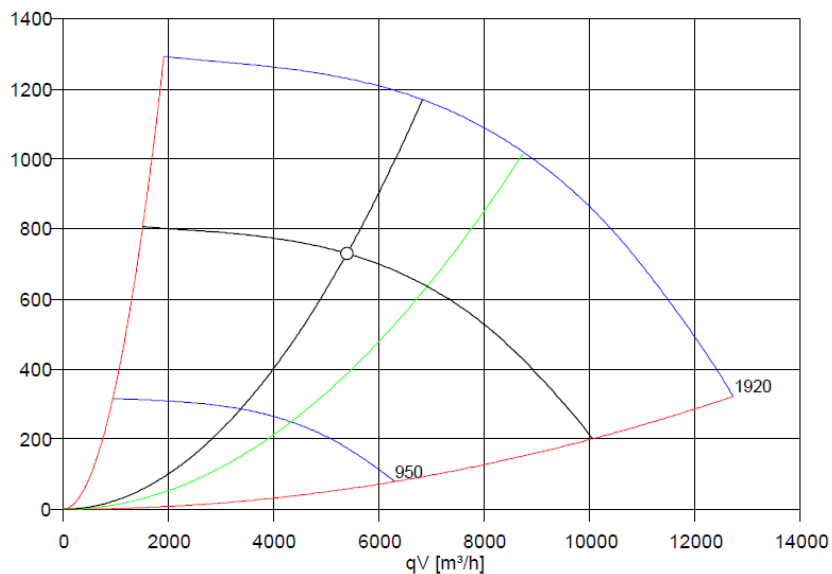
, Th.Cl.155

3~ 380...480V 50/60Hz

P1 3.80 kW

nmax 1920 1/min

Inom 6.1 - 4.8 A



Sound power sum level

Lw5 suction side	75	81	78	74	70	69	65	62	84 dB
Lw6 pressure side	77	83	80	76	72	71	67	64	86 dB
Lw(A)5 suction side	49	66	70	70	70	70	66	61	77 dB
Lw(A)6 pressure side	51	68	72	72	72	72	68	63	79 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Additional information

k-factor (C-nozzle, ρ = 1.2 kg/m³)	252 (effective pressure 459 Pa)
max. dimensions WxHxL	630 x 650 x 888 mm
Recommended housing width	927 x 927 mm
Weight	57 kg

Accessories (optional)

Rubber damper Schutzgitter	Art.No. 2001048
----------------------------	-----------------

6: PF 1.5 LG



Fan type ER50C-ZID.GG.1R Art.No. 114082/A01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 5400 m³/h pF [Pa]
psF 629 Pa
pd2 26 Pa
n 1449 1/min
P1 1.63 kW
P1max 1.67 kW
PSFP 1085 W/(m³/s)
 η_{tM} 60.4 %
 η_{faM} 58.0 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

External rotor motor ECblue

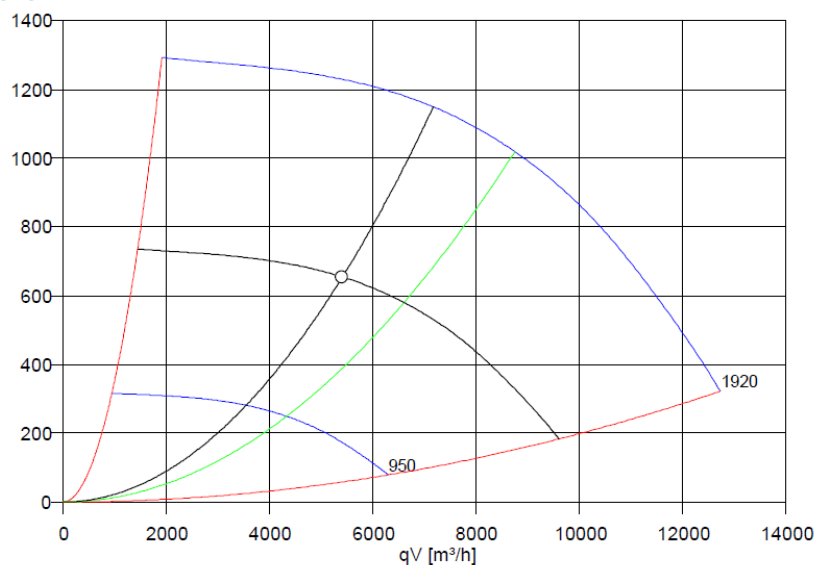
, Th.Cl.155

3~ 380...480V 50/60Hz

P1 3.80 kW

nmax 1920 1/min

Inom 6.1 - 4.8 A



Sound power sum level

Lw5 suction side	72	80	77	72	69	68	64	61	83 dB
Lw6 pressure side	74	82	79	74	71	70	66	63	85 dB
Lw(A)5 suction side	46	65	70	69	69	69	65	60	76 dB
Lw(A)6 pressure side	48	67	72	71	71	71	67	62	78 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 252 (effective pressure 459 Pa)
max. dimensions WxHxL 630 x 650 x 888 mm
Recommended housing width 927 x 927 mm
Weight 57 kg

Accessories (optional)

Rubber damper Schutzgitter Art.No. 2001048

7: TF 2.0 LR



Fan type ER56C-ZID.GG.1R Art.No. 114086/A01

03/29/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 7200 m³/h
psF 780 Pa
pd2 31 Pa
n 1416 1/min
P1 2.62 kW
P1max 2.68 kW
PSFP 1310 W/(m³/s)
 η_{tM} 61.9 %
 η_{faM} 59.5 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

External rotor motor ECblue

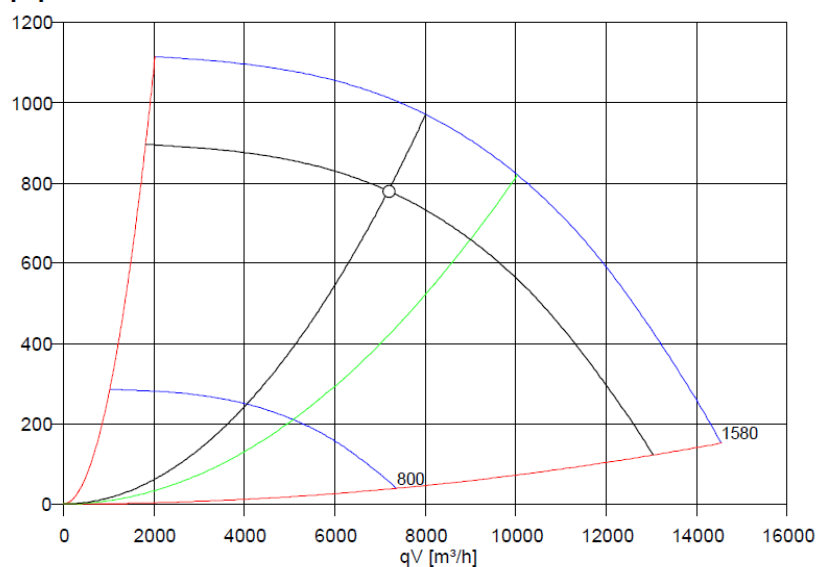
, Th.Cl.155

3~ 380...480V 50/60Hz

P1 3.60 kW

nmax 1580 1/min

Inom 5.9 - 4.7 A



Sound power sum level

Lw5 suction side	74	84	79	73	71	71	67	64	86 dB
Lw6 pressure side	76	86	81	75	73	73	69	66	88 dB
Lw(A)5 suction side	48	69	71	69	72	72	68	63	79 dB
Lw(A)6 pressure side	50	71	73	71	74	74	70	65	81 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 308 (effective pressure 546 Pa)
max. dimensions WxHxL 760 x 820 x 880 mm
Recommended housing width 1030 x 1030 mm
Weight 67 kg

Accessories (optional)

Rubber damper Schutzgitter Art.No. 2001048

7: PF 2.0 LR



Fan type ER56C-ZID.GG.1R Art.No. 114086/A01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV	7200 m³/h	pF [Pa]
psF	721 Pa	
pd2	31 Pa	
n	1373 1/min	
P1	2.40 kW	
P1max	2.44 kW	
PSFP	1202 W/(m³/s)	
η _{tM}	62.6 %	
η _{faM}	60.0 %	
ρ	1.21 kg/m³	
	at 20°C, 0m	

Motor data

External rotor motor ECblue

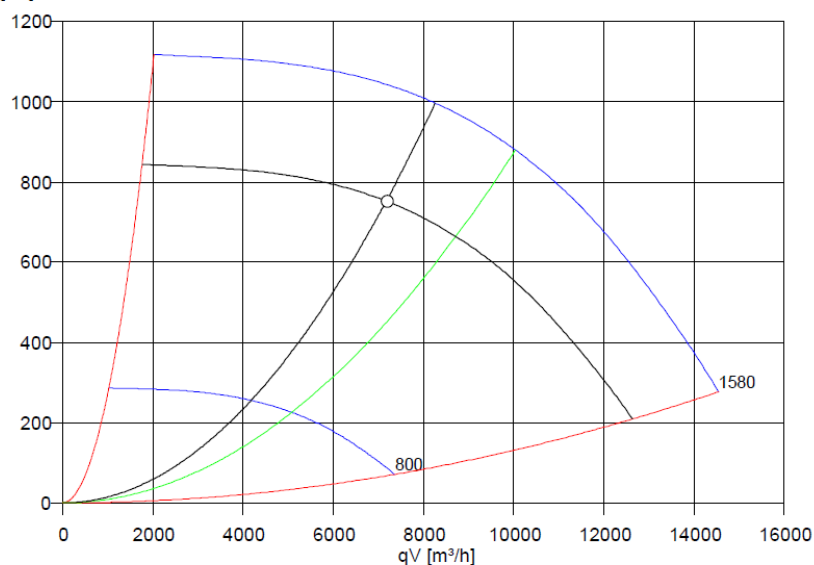
, Th.Cl.155

3~ 380...480V 50/60Hz

P1 3.60 kW

n_{max} 1580 1/min

I_{nom} 5.9 - 4.7 A



Sound power sum level

Lw5 suction side	72	83	78	72	71	70	67	63	85 dB
Lw6 pressure side	74	85	80	74	73	72	69	65	87 dB
Lw(A)5 suction side	46	69	70	68	71	71	68	63	78 dB
Lw(A)6 pressure side	48	71	72	70	73	73	70	65	80 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 308 (effective pressure 546 Pa)
max. dimensions WxHxL 760 x 820 x 880 mm
Recommended housing width 1030 x 1030 mm
Weight 67 kg

Accessories (optional)

Rubber damper Schutzgitter Art.No. 2001048

8: TF 2.0 LG



Fan type ER56C-ZID.GG.1R Art.No. 114086/A01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 7200 m³/h
 psF 725 Pa
 $pd2$ 31 Pa
 n 1376 1/min
 $P1$ 2.42 kW
 $P1max$ 2.46 kW
 $PSFP$ 1209 W/(m³/s)
 η_{tM} 62.5 %
 η_{faM} 60.0 %
 ρ 1.21 kg/m³
 at 20°C, 0m

Motor data

External rotor motor ECblue

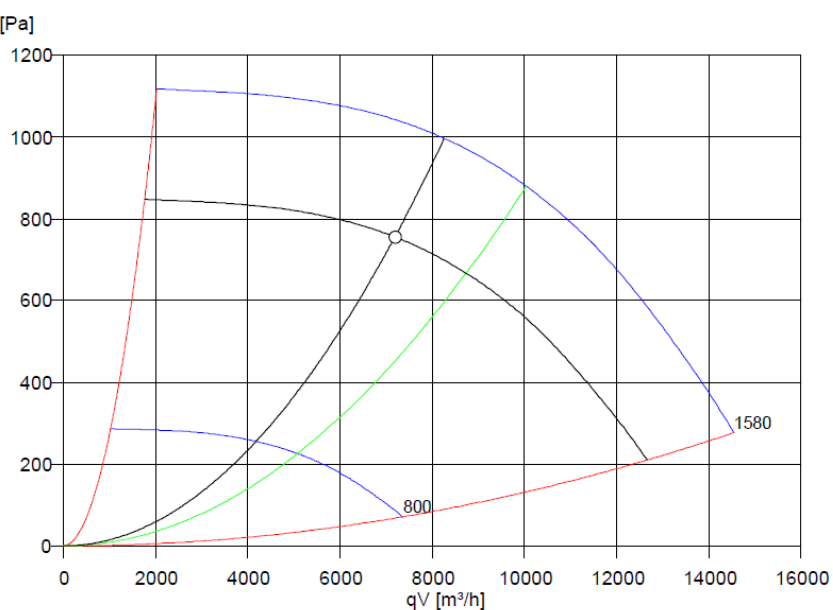
, Th.Cl.155

3~ 380...480V 50/60Hz

$P1$ 3.60 kW

n_{max} 1580 1/min

I_{nom} 5.9 - 4.7 A



Sound power sum level

Lw5 suction side	72	83	78	72	71	70	67	64	85 dB
Lw6 pressure side	74	85	80	74	73	72	69	66	87 dB
Lw(A)5 suction side	46	69	71	68	71	71	68	63	78 dB
Lw(A)6 pressure side	48	71	73	70	73	73	70	65	80 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Additional information

k -factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 308 (effective pressure 546 Pa)
 max. dimensions WxHxL 760 x 820 x 880 mm
 Recommended housing width 1030 x 1030 mm
 Weight 67 kg

Accessories (optional)

Rubber damper Schutzgitter Art.No. 2001048

8: PF 2.0 LG



Fan type ER56C-ZID.GG.1R Art.No. 114086/A01

01/22/11 Version 5.0c / 3128

Fan data

qV 7200 m³/h pF [Pa]
psF 635 Pa
pd2 31 Pa
n 1307 1/min
P1 2.09 kW
P1max 2.11 kW
PSFP 1046 W/(m³/s)
 η_{tM} 63.6 %
 η_{faM} 60.7 %
 ρ 1.21 kg/m³
at 20°C, 0m

Motor data

External rotor motor ECblue

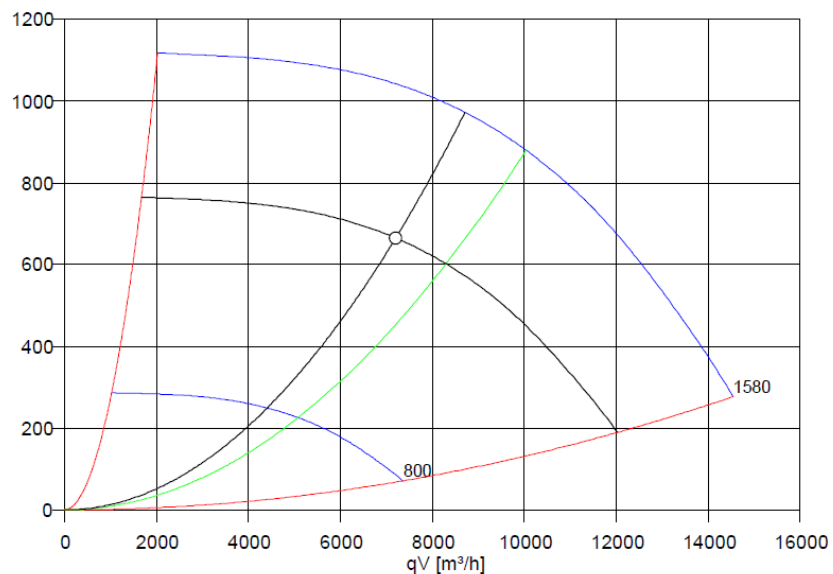
, Th.Cl.155

3~ 380...480V 50/60Hz

P1 3.60 kW

nmax 1580 1/min

Inom 5.9 - 4.7 A



Sound power sum level

Lw5 suction side	69	82	77	70	70	69	65	62	84 dB
Lw6 pressure side	71	84	79	72	72	71	67	64	86 dB
Lw(A)5 suction side	44	67	69	67	70	70	66	61	76 dB
Lw(A)6 pressure side	46	69	71	69	72	72	68	63	78 dB
Octave centre freq.	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz sum

Additional information

k-factor (C-nozzle, $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) 308 (effective pressure 546 Pa)
max. dimensions WxHxL 760 x 820 x 880 mm
Recommended housing width 1030 x 1030 mm
Weight 67 kg

Accessories (optional)

Rubber damper Schutzgitter Art.No. 2001048

Ilmanvaihtojärjestelmien hinnat

Ilmanvaihto- kone	Koneiden yht.hinta sis. Puhallin	Taajuusmuuttaja mallia ZA	Taajuusm.	Kanavien työ + materiaali	Anturit + niiten asennus	Vanhojen laitteiden purkukustannuksia	Ylläpito ja huoltokust.	Kok. Kustannukset
			asennus ja ohjelmointi					
Merkintä	EUR	EUR		EUR	EUR	EUR	EUR	EUR
B214 TF	0	0	0	0	1000	0	10000	11000
B214 PF	0	0	0	0	1000	0	10000	11000
1: TF 12.0 LR	114000	2788	250	500	1000	10000	0	128538
1: PF 12.0 LR	114000	2251	250	500	1000	10000	0	128001
2: TF 3.0 LR	162800	3792	1000	1891	1000	10000	0	180483
2: PF 3.0 LR	162800	3792	1000	1891	1000	10000	0	180483
3: TF 1.5 LR	201800	0	800	2258	1000	10000	0	215658
3: PF 1.5 LR	201800	0	800	2258	1000	10000	0	215658
4: TF 12.0 LG	145100	2251	250	500	1000	10000	0	159101
4: PF 12.0 LG	145100	2054	250	500	1000	10000	0	158904
5: TF 3.0 LG	183200	3792	1000	1891	1000	10000	0	200883
5: PF 3.0 LG	183200	3412	1000	1891	1000	10000	0	200503
6: TF 1.5 LG	228800	0	800	2258	1000	10000	0	242858
6: PF 1.5 LG	228800	0	800	2258	1000	10000	0	242858
7: TF 2.0 LR	177000	0	600	2278	1000	10000	0	190878
7: PF 2.0 LR	177000	0	600	2278	1000	10000	0	190878
8: TF 2.0 LG	189000	0	600	2278	1000	10000	0	202878
8: PF 2.0 LG	189000	0	600	2278	1000	10000	0	202878

Ilmanvaihtojärjestelmien hinnat

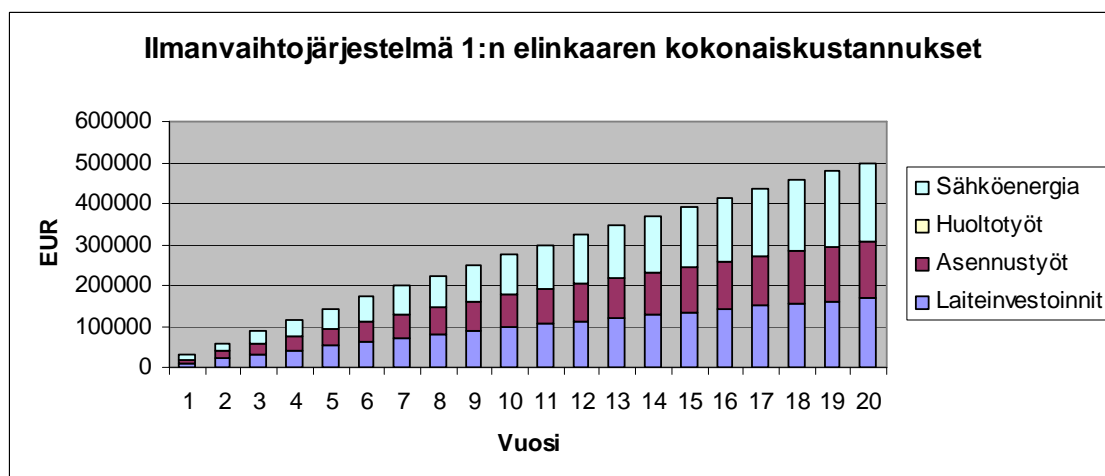
Ilmanvaihto- kone	Koneiden yht.hinta sis. Puhallin	Taajuusmuuttaja mallia ZA	Taajuusm.	Kanavien työ + materiaali	Anturit + niiden asennus	Vanhojen laitteiden purkukustannuksia	Ylläpito ja huoltokust.	Kok. Kustannukset
			asennus ja ohjelmointi					
Merkintä	EUR	EUR		EUR	EUR	EUR	EUR	EUR
B214 TF	0	0	0	0	1000	0	10000	11000
B214 PF	0	0	0	0	1000	0	10000	11000
1: TF 12.0 LR	114000	2788	250	500	1000	10000	0	128538
1: PF 12.0 LR	114000	2251	250	500	1000	10000	0	128001
2: TF 3.0 LR	162800	3792	1000	1891	1000	10000	0	180483
2: PF 3.0 LR	162800	3792	1000	1891	1000	10000	0	180483
3: TF 1.5 LR	201800	0	800	2258	1000	10000	0	215858
3: PF 1.5 LR	201800	0	800	2258	1000	10000	0	215858
4: TF 12.0 LG	145100	2251	250	500	1000	10000	0	159101
4: PF 12.0 LG	145100	2054	250	500	1000	10000	0	158904
5: TF 3.0 LG	183200	3792	1000	1891	1000	10000	0	200883
5: PF 3.0 LG	183200	3412	1000	1891	1000	10000	0	200503
6: TF 1.5 LG	228800	0	800	2258	1000	10000	0	242858
6: PF 1.5 LG	228800	0	800	2258	1000	10000	0	242858
7: TF 2.0 LR	177000	0	600	2278	1000	10000	0	190878
7: PF 2.0 LR	177000	0	600	2278	1000	10000	0	190878
8: TF 2.0 LG	189000	0	600	2278	1000	10000	0	202878
8: PF 2.0 LG	189000	0	600	2278	1000	10000	0	202878

Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarien kokonaiskustannukset

Esimerkki: Ilmanvaihtojärjestelmä: 1

Vuosi	Laiteinvestoinnit	Asennustyöt	Huoltotyöt	Sähköenergia, €	Yhteensä, €
1	10992	8994		10081	30067
2	21664	17725		20113	59502
3	32025	26203		30096	88324
4	42085	34433		40030	116548
5	51851	42424		49916	144191
6	61333	50182		59754	171269
7	70539	57714		69545	197798
8	79477	65026		79288	223791
9	88154	72126		88984	249264
10	96578	79019		98633	274230
11	104758	85711		108235	298704
12	112699	92208		117790	322697
13	120408	98516		127299	346223
14	127894	104640		136762	369296
15	135161	110586		146179	391926
16	142216	116359		155550	414125
17	149066	121963		164875	435904
18	155717	127404		174155	457276
19	162173	132687		183390	478250
20	168442	137816		192579	498837

Ilmanvaihtojärjestelmä 2 =	574538	€
Ilmanvaihtojärjestelmä 3 =	674194	€
Ilmanvaihtojärjestelmä 4 =	545749	€
Ilmanvaihtojärjestelmä 5 =	607897	€
Ilmanvaihtojärjestelmä 6 =	726803	€
Ilmanvaihtojärjestelmä 7 =	599171	€
Ilmanvaihtojärjestelmä 8 =	616731	€



Tutkittavan tilan kokonaisenergiankulutus

Lämmitys - kWh

Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1043000	313000	212000	216000	532000	368000	368000	210000	390000
2	2086000	626000	424000	432000	1064000	736000	736000	420000	780000
3	3129000	939000	636000	648000	1596000	1104000	1104000	630000	1170000
4	4172000	1252000	848000	864000	2128000	1472000	1472000	840000	1560000
5	5215000	1565000	1060000	1080000	2660000	1840000	1840000	1050000	1950000
6	6258000	1878000	1272000	1296000	3192000	2208000	2208000	1260000	2340000
7	7301000	2191000	1484000	1512000	3724000	2576000	2576000	1470000	2730000
8	8344000	2504000	1696000	1728000	4256000	2944000	2944000	1680000	3120000
9	9387000	2817000	1908000	1944000	4788000	3312000	3312000	1890000	3510000
10	10430000	3130000	2120000	2160000	5320000	3680000	3680000	2100000	3900000
11	11473000	3443000	2332000	2376000	5852000	4048000	4048000	2310000	4290000
12	12516000	3756000	2544000	2592000	6384000	4416000	4416000	2520000	4680000
13	13559000	4069000	2756000	2808000	6916000	4784000	4784000	2730000	5070000
14	14602000	4382000	2968000	3024000	7448000	5152000	5152000	2940000	5460000
15	15645000	4695000	3180000	3240000	7980000	5520000	5520000	3150000	5850000
16	16688000	5008000	3392000	3456000	8512000	5888000	5888000	3360000	6240000
17	17731000	5321000	3604000	3672000	9044000	6256000	6256000	3570000	6630000
18	18774000	5634000	3816000	3888000	9576000	6624000	6624000	3780000	7020000
19	19817000	5947000	4028000	4104000	10108000	6992000	6992000	3990000	7410000
20	20860000	6260000	4240000	4320000	10640000	7360000	7360000	4200000	7800000

Sähkö - kWh

Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	346221	98235	73251	81249	84727	65656	74959	73164	67505
2	692442	196470	146502	162498	169454	131312	149918	146328	135010
3	1038663	294705	219753	243747	254181	196968	224877	219492	202515
4	1384884	392940	293004	324996	338908	262624	299836	292656	270020
5	1731105	491175	366255	406245	423635	328280	374795	365820	337525
6	2077326	589410	439506	487494	508362	393936	449754	438984	405030
7	2423547	687645	512757	568743	593089	459592	524713	512148	472535
8	2769768	785880	586008	649992	677816	525248	599672	585312	540040
9	3115989	884115	659259	731241	762543	590904	674631	658476	607545
10	3462210	982350	732510	812490	847270	656560	749590	731640	675050
11	3808431	1080585	805761	893739	931997	722216	824549	804804	742555
12	4154652	1178820	879012	974988	1016724	787872	899508	877968	810060
13	4500873	1277055	952263	1056237	1101451	853528	974467	951132	877565
14	4847094	1375290	1025514	1137486	1186178	919184	1049426	1024296	945070
15	5193315	1473525	1098765	1218735	1270905	984840	1124385	1097460	1012575
16	5539536	1571760	1172016	1299984	1355632	1050496	1199344	1170624	1080080
17	5885757	1669995	1245267	1381233	1440359	1116152	1274303	1243788	1147585
18	6231978	1768230	1318518	1462482	1525086	1181808	1349262	1316952	1215090
19	6578199	1866465	1391769	1543731	1609813	1247464	1424221	1390116	1282595
20	6924420	1964700	1465020	1624980	1694540	1313120	1499180	1463280	1350100

Tutkittavan tilan kokonaisenergiankulutus

Lämmitys - kWh

Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1043000	313000	212000	216000	532000	368000	368000	210000	390000
2	2086000	626000	424000	432000	1064000	736000	736000	420000	780000
3	3129000	939000	636000	648000	1596000	1104000	1104000	630000	1170000
4	4172000	1252000	848000	864000	2128000	1472000	1472000	840000	1560000
5	5215000	1565000	1060000	1080000	2660000	1840000	1840000	1050000	1950000
6	6258000	1878000	1272000	1296000	3192000	2208000	2208000	1260000	2340000
7	7301000	2191000	1484000	1512000	3724000	2576000	2576000	1470000	2730000
8	8344000	2504000	1696000	1728000	4256000	2944000	2944000	1680000	3120000
9	9387000	2817000	1908000	1944000	4788000	3312000	3312000	1890000	3510000
10	10430000	3130000	2120000	2160000	5320000	3680000	3680000	2100000	3900000
11	11473000	3443000	2332000	2376000	5852000	4048000	4048000	2310000	4290000
12	12516000	3756000	2544000	2592000	6384000	4416000	4416000	2520000	4680000
13	13559000	4069000	2756000	2808000	6916000	4784000	4784000	2730000	5070000
14	14602000	4382000	2968000	3024000	7448000	5152000	5152000	2940000	5460000
15	15645000	4695000	3180000	3240000	7980000	5520000	5520000	3150000	5850000
16	16688000	5008000	3392000	3456000	8512000	5888000	5888000	3360000	6240000
17	17731000	5321000	3604000	3672000	9044000	6256000	6256000	3570000	6630000
18	18774000	5634000	3816000	3888000	9576000	6624000	6624000	3780000	7020000
19	19817000	5947000	4028000	4104000	10108000	6992000	6992000	3990000	7410000
20	20860000	6260000	4240000	4320000	10640000	7360000	7360000	4200000	7800000

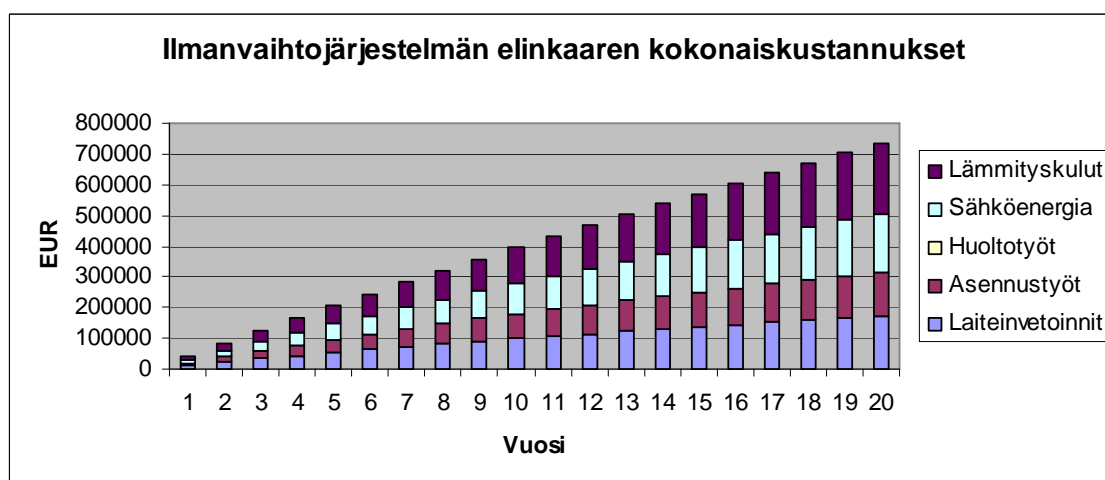
Sähkö - kWh

Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	346221	98235	73251	81249	84727	65656	74959	73164	67505
2	692442	196470	146502	162498	169454	131312	149918	146328	135010
3	1038663	294705	219753	243747	254181	196968	224877	219492	202515
4	1384884	392940	293004	324996	338908	262624	299836	292656	270020
5	1731105	491175	366255	406245	423635	328280	374795	365820	337525
6	2077326	589410	439506	487494	508362	393936	449754	438984	405030
7	2423547	687645	512757	568743	593089	459592	524713	512148	472535
8	2769768	785880	586008	649992	677816	525248	599672	585312	540040
9	3115989	884115	659259	731241	762543	590904	674631	658476	607545
10	3462210	982350	732510	812490	847270	656560	749590	731640	675050
11	3808431	1080585	805761	893739	931997	722216	824549	804804	742555
12	4154652	1178820	879012	974988	1016724	787872	899508	877968	810060
13	4500873	1277055	952263	1056237	1101451	853528	974467	951132	877565
14	4847094	1375290	1025514	1137486	1186178	919184	1049426	1024296	945070
15	5193315	1473525	1098765	1218735	1270905	984840	1124385	1097460	1012575
16	5539536	1571760	1172016	1299984	1355632	1050496	1199344	1170624	1080080
17	5885757	1669995	1245267	1381233	1440359	1116152	1274303	1243788	1147585
18	6231978	1768230	1318518	1462482	1525086	1181808	1349262	1316952	1215090
19	6578199	1866465	1391769	1543731	1609813	1247464	1424221	1390116	1282595
20	6924420	1964700	1465020	1624980	1694540	1313120	1499180	1463280	1350100

Kokonaiskustannusten muodostuminen

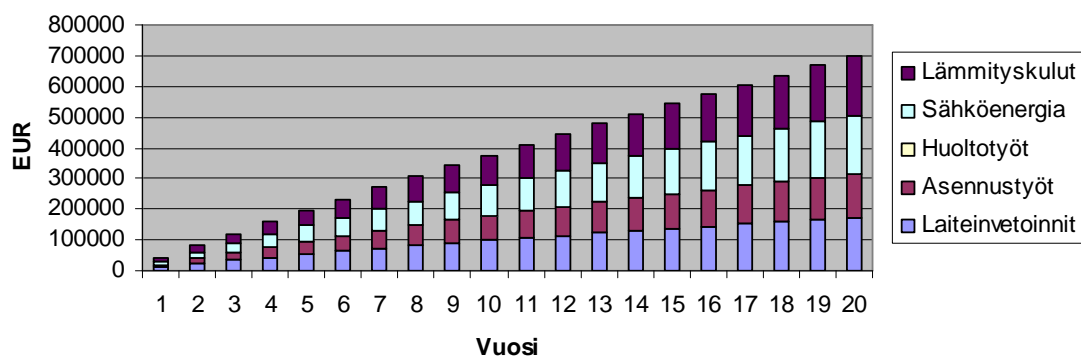
Esimerkki: Ilmanvaihtojärjestelmä 1 (Eri laitelämpökuormien hyödyntäminen)

Ilmanvaihtojärjestelmä: 1 - 5 kW (Lämpökuorman hyödyntäminen)						
Vuosi	Laiteinvestoinnit	Asennustyöt	Huoltotyöt	Sähköenergia, EUR	Lämmitys, EUR	Yhteensä, EUR
1	11206	9169		10081	12022	42478
2	22086	18071		20113	23986	84256
3	32649	26714		30096	35892	125351
4	42904	35105		40030	47740	165779
5	52861	43251		49916	59531	205559
6	62528	51160		59754	71264	244706
7	71913	58839		69545	82940	283237
8	81025	66294		79288	94560	321167
9	89871	73532		88984	106123	358510
10	98460	80559		98633	117630	395282
11	106799	87382		108235	129081	431497
12	114895	94006		117790	140477	467168
13	122755	100437		127299	151817	502308
14	130386	106681		136762	163102	536931
15	137795	112743		146179	174333	571050
16	144988	118628		155550	185509	604675
17	151971	124342		164875	196631	637819
18	158751	129889		174155	207699	670494
19	165334	135273		183390	218713	702710
20	171725	140502		192579	229674	734480



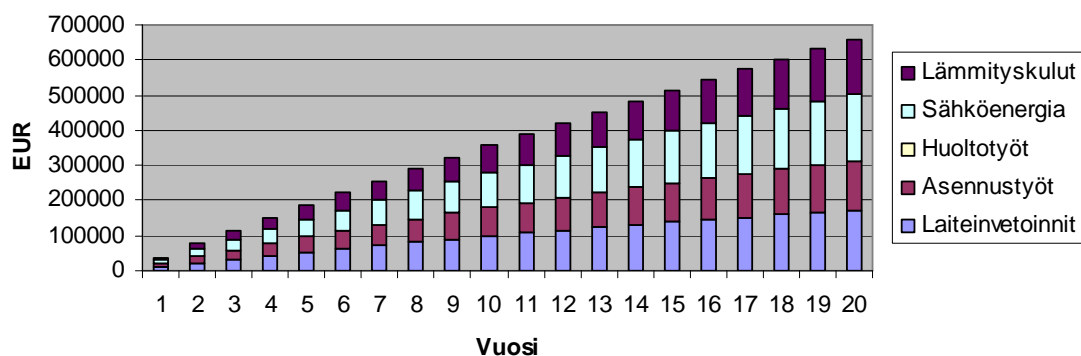
Ilmanvaihtojärjestelmä: 1 - 10 kW (Lämpökuorman hyödyntäminen)						
Vuosi	Laiteinvestoinnit	Asennustyöt	Huoltotyöt	Sähköenergia, EUR	Lämmitys, EUR	Yhteensä, EUR
1	11206	9169		10081	10066	40522
2	22086	18071		20113	20083	80353
3	32649	26714		30096	30052	119511
4	42904	35105		40030	39972	158011
5	52861	43251		49916	49844	195872
6	62528	51160		59754	59668	233110
7	71913	58839		69545	69444	269741
8	81025	66294		79288	79173	305780
9	89871	73532		88984	88855	341242
10	98460	80559		98633	98490	376142
11	106799	87382		108235	108077	410493
12	114895	94006		117790	117619	444310
13	122755	100437		127299	127114	477605
14	130386	106681		136762	136563	510392
15	137795	112743		146179	145966	542683
16	144988	118628		155550	155323	574489
17	151971	124342		164875	164635	605823
18	158751	129889		174155	173902	636697
19	165334	135273		183390	183124	667121
20	171725	140502		192579	192301	697107

Ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaren kokonaiskustannukset

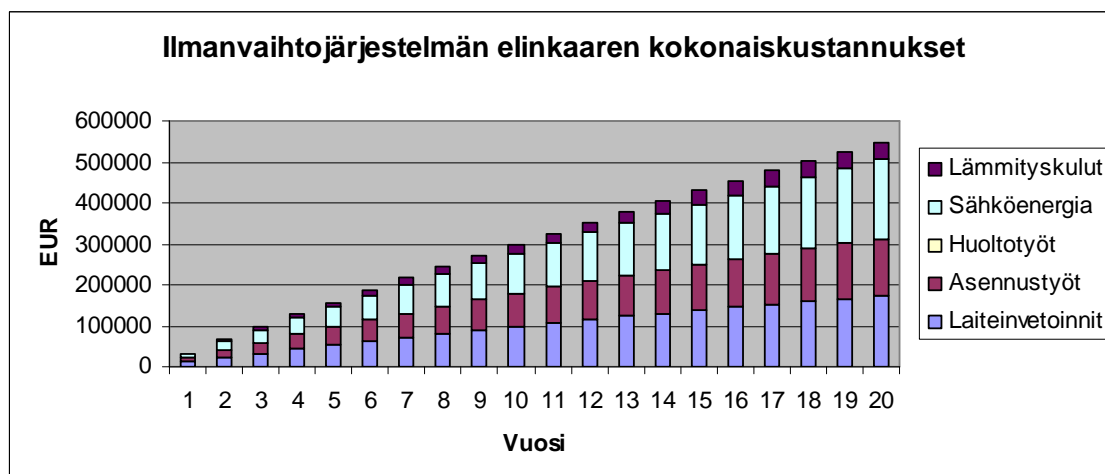


Ilmanvaihtojärjestelmä: 1 - 15 kW (Lämpökuorman hyödyntäminen)						
Vuosi	Laiteinvestoinnit	Asennustyöt	Huoltotyöt	Sähköenergia, EUR	Lämmitys, EUR	Yhteensä, EUR
1	11206	9169		10081	8111	38567
2	22086	18071		20113	16182	76452
3	32649	26714		30096	24214	113673
4	42904	35105		40030	32207	150246
5	52861	43251		49916	40161	186189
6	62528	51160		59754	48077	221519
7	71913	58839		69545	55954	256251
8	81025	66294		79288	63793	290400
9	89871	73532		88984	71594	323981
10	98460	80559		98633	79357	357009
11	106799	87382		108235	87082	389498
12	114895	94006		117790	94770	421461
13	122755	100437		127299	102421	452912
14	130386	106681		136762	110034	483863
15	137795	112743		146179	117611	514328
16	144988	118628		155550	125151	544317
17	151971	124342		164875	132654	573842
18	158751	129889		174155	140121	602916
19	165334	135273		183390	147551	631548
20	171725	140502		192579	154946	659752

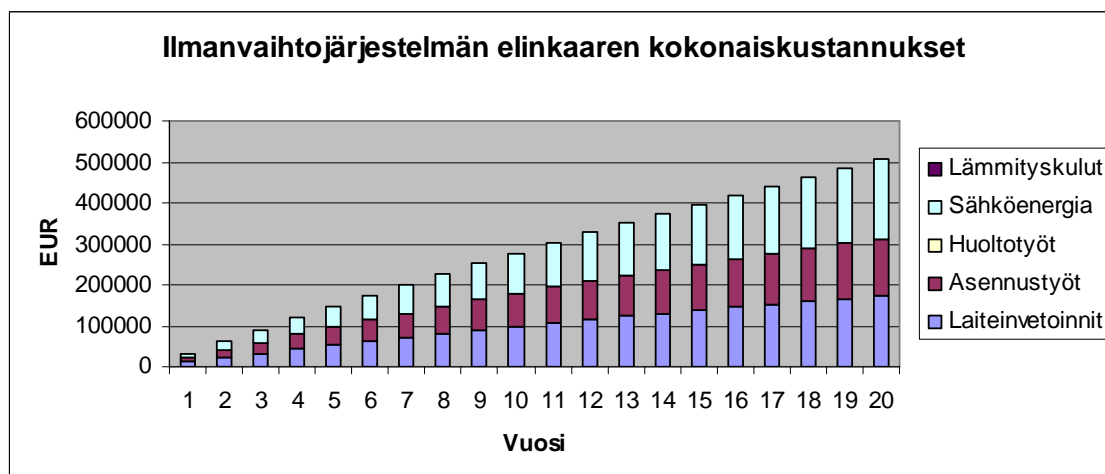
Ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaren kokonaiskustannukset



Ilmanvaihtojärjestelmä: 1 - 30 kW (Lämpökuorman hyödyntäminen)						
Vuosi	Laiteinvestoinnit	Asennustyöt	Huoltotyöt	Sähköenergia, EUR	Lämmitys, EUR	Yhteensä, EUR
1	11206	9169		10081	2242	32698
2	22086	18071		20113	4473	64743
3	32649	26714		30096	6693	96152
4	42904	35105		40030	8902	126941
5	52861	43251		49916	11101	157129
6	62528	51160		59754	13289	186731
7	71913	58839		69545	15466	215763
8	81025	66294		79288	17633	244240
9	89871	73532		88984	19789	272176
10	98460	80559		98633	21935	299587
11	106799	87382		108235	24070	326486
12	114895	94006		117790	26195	352886
13	122755	100437		127299	28310	378801
14	130386	106681		136762	30414	404243
15	137795	112743		146179	32508	429225
16	144988	118628		155550	34592	453758
17	151971	124342		164875	36666	477854
18	158751	129889		174155	38730	501525
19	165334	135273		183390	40784	524781
20	171725	140502		192579	42826	547632



Ilmanvaihtojärjestelmä: 1 - 40 kW (Lämpökuorman hyödyntäminen)						
Vuosi	Laiteinvestoinnit	Asennustyöt	Huoltotyöt	Sähköenergia, EUR	Lämmitys, EUR	Yhteensä, EUR
1	11206	9169		10081	0	30456
2	22086	18071		20113	0	60270
3	32649	26714		30096	0	89459
4	42904	35105		40030	0	118039
5	52861	43251		49916	0	146028
6	62528	51160		59754	0	173442
7	71913	58839		69545	0	200297
8	81025	66294		79288	0	226607
9	89871	73532		88984	0	252387
10	98460	80559		98633	0	277652
11	106799	87382		108235	0	302416
12	114895	94006		117790	0	326691
13	122755	100437		127299	0	350491
14	130386	106681		136762	0	373829
15	137795	112743		146179	0	396717
16	144988	118628		155550	0	419166
17	151971	124342		164875	0	441188
18	158751	129889		174155	0	462795
19	165334	135273		183390	0	483997
20	171725	140502		192579	0	504806



Takaisinmaksuajat hyödyntämällä eri laitelämpökuormia

Vuosi	Ilmanvaihtojärjestelmä - 5 kW								
	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	108369	334330	463961	570998	416104	518391	636070	499065	532817
2	190072	356326	473078	579295	446454	533653	644496	506536	545364
3	271380	378215	482151	587552	476657	548842	652881	513971	557850
4	352293	399997	491180	595769	506713	563956	661226	521370	570275
5	432813	421674	500165	603946	536624	578997	669530	528733	582640
6	512942	443245	509106	612083	566389	593965	677790	536060	594945
7	592683	464712	518003	620180	596010	608861	686013	543352	607190
8	672036	486075	526858	628240	625487	623684	694197	550608	619375
9	751005	507334	535669	636260	654820	638436	702341	557829	631502
10	829590	528490	544437	644241	684012	653116	710446	565015	643569
11	907794	549543	553163	652183	713061	667725	718511	572166	655578
12	985617	570494	561847	660086	741970	682263	726536	579282	667529
13	1063062	591343	570488	667951	770738	696730	734523	586364	679421
14	1140132	612091	579088	675778	799366	711127	742571	593412	691256
15	1216828	632739	587645	683567	827856	725454	750381	600425	703033
16	1293151	653286	596161	691318	856207	739712	758252	607404	714754
17	1369104	673733	604636	699031	884421	753900	766085	614349	726417
18	1444688	694081	613070	706707	912498	768019	773880	621261	738024
19	1519905	714330	621463	714346	940437	782070	781637	628139	749574
20	1594758	734480	629815	721946	968240	796050	789356	634985	761068

Vuosi	Ilmanvaihtojärjestelmä - 10 kW								
	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	108369	332374	462317	570998	414148	510567	635295	499065	527136
2	190072	352423	469798	579295	442551	518043	642950	506536	534030
3	271380	372375	477243	587552	470816	525483	650568	513971	540890
4	352293	392229	484652	595769	498944	532887	658149	521370	547717
5	432813	411987	492025	603946	526936	540255	665693	528733	554511
6	512942	431649	499362	612083	554792	547587	673197	536060	561272
7	592683	451216	506663	620180	582513	554883	680668	543352	568000
8	672036	470688	513929	628240	610099	562144	688103	550608	574695
9	751005	490066	521159	636260	637551	569370	695502	557829	581358
10	829590	509350	528354	644241	664870	576561	702865	565015	587988
11	907794	528539	535514	652183	692056	583717	710192	572166	594586
12	985617	547636	542640	660086	719110	590838	717483	579282	601152
13	1063062	566640	549731	667951	746032	597925	724739	586364	607686
14	1140132	585552	556788	675778	772824	604977	732060	593412	614189
15	1216828	604372	563810	683567	799487	611995	739146	600425	620660
16	1293151	623100	570798	691318	826019	618979	746297	607404	627100
17	1369104	641737	577752	699031	852423	625929	753413	614349	633508
18	1444688	660284	584673	706707	878699	632845	760495	621261	639885
19	1519905	678741	591560	714346	904847	639728	767542	628139	646231
20	1594758	697107	598414	721946	930867	646575	774555	634985	652546

Ilmanvaihtojärjestelmä - 15 kW									
Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	108369	330419	462317	570998	412192	509792	635295	499065	527136
2	190072	348522	469798	579295	438649	516497	642950	506536	534030
3	271380	366537	477243	587552	464978	523170	650568	513971	540890
4	352293	384464	484652	595769	491179	529810	658149	521370	547717
5	432813	402304	492025	603946	517253	536418	665693	528733	554511
6	512942	420058	499362	612083	543200	542994	673197	536060	561272
7	592683	437726	506663	620180	569021	549538	680668	543352	568000
8	672036	455308	513929	628240	594717	556050	688103	550608	574695
9	751005	472805	521159	636260	620288	562531	695502	557829	581358
10	829590	490217	528354	644241	645736	568980	702865	565015	587988
11	907794	507544	535514	652183	671059	575398	710192	572166	594586
12	985617	524787	542640	660086	696260	581785	717483	579282	601152
13	1063062	541947	549731	667951	721338	588141	724739	586364	607686
14	1140132	559023	556788	675778	746297	594466	732060	593412	614189
15	1216828	576017	563810	683567	771133	600760	739146	600425	620660
16	1293151	592928	570798	691318	795848	607024	746297	607404	627100
17	1369104	609756	577752	699031	820443	613257	753413	614349	633508
18	1444688	626503	584673	706707	844918	619460	760495	621261	639885
19	1519905	643168	591560	714346	869275	625633	767542	628139	646231
20	1594758	659752	598414	721946	893512	631774	774555	634985	652546

Ilmanvaihtojärjestelmä - 30 kW									
Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	108369	324550	462317	570998	406323	509792	635295	499065	527136
2	190072	336813	469798	579295	426940	516497	642950	506536	534030
3	271380	349016	477243	587552	447457	523170	650568	513971	540890
4	352293	361159	484652	595769	467874	529810	658149	521370	547717
5	432813	373244	492025	603946	488193	536418	665693	528733	554511
6	512942	385270	499362	612083	508412	542994	673197	536060	561272
7	592683	397238	506663	620180	528533	549538	680668	543352	568000
8	672036	409148	513929	628240	548557	556050	688103	550608	574695
9	751005	421000	521159	636260	568484	562531	695502	557829	581358
10	829590	432795	528354	644241	588314	568980	702865	565015	587988
11	907794	444532	535514	652183	608047	575398	710192	572166	594586
12	985617	456212	542640	660086	627685	581785	717483	579282	601152
13	1063062	467836	549731	667951	647227	588141	724739	586364	607686
14	1140132	479403	556788	675778	666675	594466	732060	593412	614189
15	1216828	490914	563810	683567	686028	600760	739146	600425	620660
16	1293151	502369	570798	691318	705287	607024	746297	607404	627100
17	1369104	513768	577752	699031	724453	613257	753413	614349	633508
18	1444688	525112	584673	706707	743526	619460	760495	621261	639885
19	1519905	536401	591560	714346	762506	625633	767542	628139	646231
20	1594758	547632	598414	721946	781392	631774	774555	634985	652546

	Ilmanvaihtojärjestelmä - 40 kW								
Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	108369	322308	462317	570998	402412	509792	635295	499065	527136
2	190072	332340	469798	579295	419136	516497	642950	506536	534030
3	271380	342323	477243	587552	435779	523170	650568	513971	540890
4	352293	352257	484652	595769	452341	529810	658149	521370	547717
5	432813	362143	492025	603946	468823	536418	665693	528733	554511
6	512942	371981	499362	612083	485225	542994	673197	536060	561272
7	592683	381772	506663	620180	501547	549538	680668	543352	568000
8	672036	391515	513929	628240	517790	556050	688103	550608	574695
9	751005	401211	521159	636260	533954	562531	695502	557829	581358
10	829590	410860	528354	644241	550040	568980	702865	565015	587988
11	907794	420462	535514	652183	566047	575398	710192	572166	594586
12	985617	430017	542640	660086	581977	581785	717483	579282	601152
13	1063062	439526	549731	667951	597830	588141	724739	586364	607686
14	1140132	448989	556788	675778	613605	594466	732060	593412	614189
15	1216828	458406	563810	683567	629305	600760	739146	600425	620660
16	1293151	467777	570798	691318	644928	607024	746297	607404	627100
17	1369104	477102	577752	699031	660475	613257	753413	614349	633508
18	1444688	486382	584673	706707	675947	619460	760495	621261	639885
19	1519905	495617	591560	714346	691343	625633	767542	628139	646231
20	1594758	504806	598414	721946	706664	631774	774555	634985	652546

	Ilmanvaihtojärjestelmä - 60 kW								
Vuosi	B214	1	2	3	4	5	6	7	8
1	108369	322308	462317	570998	394574	509792	635295	499065	527136
2	190072	332340	469798	579295	403498	516497	642950	506536	534030
3	271380	342323	477243	587552	412379	523170	650568	513971	540890
4	352293	352257	484652	595769	421217	529810	658149	521370	547717
5	432813	362143	492025	603946	430013	536418	665693	528733	554511
6	512942	371981	499362	612083	438765	542994	673197	536060	561272
7	592683	381772	506663	620180	447475	549538	680668	543352	568000
8	672036	391515	513929	628240	456143	556050	688103	550608	574695
9	751005	401211	521159	636260	464768	562531	695502	557829	581358
10	829590	410860	528354	644241	473352	568980	702865	565015	587988
11	907794	420462	535514	652183	481894	575398	710192	572166	594586
12	985617	430017	542640	660086	490395	581785	717483	579282	601152
13	1063062	439526	549731	667951	498854	588141	724739	586364	607686
14	1140132	448989	556788	675778	507272	594466	732060	593412	614189
15	1216828	458406	563810	683567	515650	600760	739146	600425	620660
16	1293151	467777	570798	691318	523987	607024	746297	607404	627100
17	1369104	477102	577752	699031	532283	613257	753413	614349	633508
18	1444688	486382	584673	706707	540539	619460	760495	621261	639885
19	1519905	495617	591560	714346	548755	625633	767542	628139	646231
20	1594758	504806	598414	721946	556930	631774	774555	634985	652546